

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto  
Betonitekniikka

LAURI RAITA

**BETONIN TASOITTEIDEN KOSTEUSTEKNISET OMINAISUUDET**

Diplomityö, joka on jätetty opin-  
näytteenä tarkastettavaksi diplomi-  
insinöörin tutkintoa varten Espoossa  
13.5.1993

Työn valvoja: Prof. Vesa Penttala

Työn ohjaaja: Lab.ins. Karri Mäkinen



**Tekijä ja työn nimi:** Lauri Raita

Betonin tasoitteiden kosteustekniset ominaisuudet

**Päivämäärä:** 13.5.1993

**Sivumäärä:** 74 s.

**Osasto:**

**Professuuri:**

Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto Betonitekniikka

**Työn valvoja:** Prof. Vesa Penttala

**Työn ohjaaja:** Lab.ins. Karri Mäkinen

Tutkimuksessa tarkasteltiin betonialustalle levitettäviä sisätilojen tasoitteita, niiden tartuntaa betoniin ja alustabetonin kuivumista. Tämä diplomityö koostuu kirjallisuusosasta ja kokeellisesta tutkimuksesta.

Kirjallisuusosassa selvitettiin Suomen markkinoilla olevat tasoitetyypit, tasoitteiden eri tutkimusmenetelmät ja keskityttiin tasoitteiden alustana olevan betonin kuivumismekanismeihin ja -ominaisuuksiin.

Kokeellinen osa jakautui betonin kuivumistarkasteluun ja tasoitteiden tartuntakokeisiin. Koebetoneina olivat 95-80 % suhteelliseen kosteuteen kuivuneet K20 ja K35 lujuuksiset normaalisti kovettuvat, nopeasti kovettuvat ja erittäin nopeasti kovettuvat betonit. Tasoitteiksi valittiin seitsemän erityyppistä eri valmistajien tuotetta.

Kuivumistarkastelussa nopeimmin kuivuviksi osoittautuivat huokostetut betonit. Lujuudella havaittiin olevan kuivumisen alussa sitä nopeuttava vaikutus, joka hävisi ajan kuluessa.

Tartuntakokeissa havaittiin, ettei betonin lujuudella ja sideaineella ole käytännössä merkitystä tasoitteen tartuntaan. Betonin kosteuspitoisuus vaikuttaa tasoitteen tartuntaan, vaikkakaan sen merkitys ei ole suuri. Erot eri tasoitetyyppien välillä eivät olleet merkittäviä.



**Author and name of the thesis:** Lauri Raita  
Moisture Properties of Screeds for Concrete

**Date:** 13.5.1993

**Number of pages:** 74 p.

**Faculty:** Faculty of Surveying  
and Civil Engineering

**Professorship:**  
Concrete technology

**Supervisor:** Prof. Vesa Penttala

**Instructor:** Lab.Eng. Karri Mäkinen

In this study indoor screeds spread on concrete base and the bond between screeds and concrete and the drying of the concrete base were studied. This master's thesis consists of a literature survey and laboratory tests.

In the literature survey the screeds available in Finnish market and their research methods were investigated. The main attention was paid on drying mechanisms and drying properties of the base concrete.

Laboratory tests were divided into drying and bonding tests. Test concretes contained 95-80 % relative humidity and strength was 20 MPa or 35 MPa. Concretes were made of normal hardening, rapid-hardening or extra-rapid hardening Portland cements. Seven different screed types from various manufacturers were studied.

In the drying examinations of concretes air-entrained concrete dried fastest. It was also observed that strength had influence on drying. Concretes with higher strength dried faster in the beginning than weaker ones.

From the bonding tests it was noticed that the strength of concrete and the type of binder does not have any remarkable effect on the bond between screeds and concrete. Humidity of concrete does effect on screeds bonding. Differences between the screed types were not notable.



## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun Rakennus- ja maanmittaustekniikan osastolla betonitekniikan laboratoriossa.

Työn valvojana on toiminut professori Vesa Penttala ja työn ohjaajana laboratorioinsinööri Karri Mäkinen.

Espoossa 13.5.1993

Lauri Raita



## Sisällysluettelo

1.	Johdanto	7
2.	Tutkimuksen rajaaminen	8
3.	Kirjallisuustutkimus	9
3.1	Tasoiitteet	9
3.1.1	Tasoiitteiden tutkimusmenetelmät	9
3.1.2	Tutkimustulokset tasoiitteista	14
3.1.3	Kartoitus tasoiitteista	15
3.2	Betonin rakenne	17
3.2.1	Sementtikiven rakenne	17
3.2.2	Betonin huokosrakenne	18
3.2.3	Geelihuokoset	19
3.2.4	Kapillaarihuokoset	20
3.2.5	Supistumishuokoset	21
3.2.6	Ilmahuokoset	21
3.2.7	Kaasujen- ja vedenläpäisevyys	21
3.3	Betonin kuivuminen	22
3.3.1	Tasapainokosteuspitoisuus	22
3.3.2	Betonin rakennekosteus	23
3.3.3	Haihtumiskuivuminen	23
3.3.4	Sitoutumiskuivuminen	24
3.3.5	Kosteuden siirtyminen betonissa	24
3.4	Betonin kuivumiseen ja kuivumisnopeuteen vaikuttavat tekijät	29
3.4.1	Betonin koostumus	29
3.4.2	Lujuus ja hydrataatio	31
3.4.3	Ulkoiset olosuhteet	31
3.4.4	Betonin lisäaineet	33
3.4.5	Jälkihoidon vaikutus kuivumiseen	34
3.5	Päällystystyön vaatimukset betonin kosteuspitoisuudelle	36



4.	Kokeellisen osan materiaalitiedot	38
4.1	Betonin osa-aineet	38
4.1.1	Sideaineet	38
4.1.2	Runkoaineet	38
4.1.3	Vesi ja lisäaineet	39
4.2	Seinätasoitteet	40
4.3	Lattiatasoitteet	41
5.	Koejärjestelyt	42
5.1	Betonimassojen suhteitus	42
5.2	Betonimassojen valmistus ja massakokeet	46
5.3	Betonikoekappaleiden valmistus ja säilytys	46
5.4	Kosteuspitoisuuden mittaus	47
5.5	Tasoihteen levitys	47
5.6	Tartunnan määritys	48
6.	Koetulokset	49
6.1	Betonikoekappaleet	49
6.2	Kosteusmittaukset	52
6.3	Seinätasoitteiden tartunnat	57
6.4	Lattiatasoitteiden tartunnat	59
7.	Koetulosten tarkastelu	61
8.	Yhteenveto	64
9.	Kirjallisuusluettelo	66
Liite 1. Betonien koestuslujuudet		
Liite 2. Tasoihtteiden tartunnat		
Liite 3. Betonien kuivumisaika-kustannusvertailu		



# 1. Johdanto

Rakentamisen kehittyminen prosessinomaiseksi on lyhentänyt merkittävästi rakennusaikaa viime vuosikymmenten aikana. Tällöin myös betoni- ja pinnoittamistöiden välinen aika on lyhentynyt. Koska päällystämisen onnistuminen edellyttää betonin kuivumista, on korostunut tarve saada betonirakenteet nopeasti kuiviksi.

Betonirakenteissa on valmistumisen jälkeen runsaasti rakennekosteutta, jonka määrä riippuu mm. betonimassasta sekä mahdollisesta rakenteen jälkihoidossa käytetystä ja rakennustyön aikana rakenteisiin pääsevästä vedestä. Rakennekohteudeksi kutsutaan betonimassassa ollutta ja jälkihoidossa sinne joutunutta vettä. Betonirakenteet kuivuvat yleensä hitaasti. Kuivumiseen varattava aika siirtää rakennuksen valmistumista osaltaan myöhäisemmäksi. Tarvittavaan kuivatusaikaan ja -energiämäärään voidaan vaikuttaa rakenteellisin ratkaisuin, materiaalivalinnoin ja työmenetelmin.

Tässä työssä keskitytään etsimään sellaisia betoni-tasointeyhdistelmiä, joissa betoni kuivuu nopeasti ja tasoitteen tartunta on suurehkosta kosteuspitoisuudesta huolimatta riittävä, jolloin päällystämistä voidaan useilla päällystysmateriaaleilla aikaistaa.



## 2. Tutkimuksen rajaaminen

Tässä tutkimuksessa keskitytään tasoitteiden osalta sisätiloissa käytettäviin kuivien ja kosteiden tilojen tasoitteiden ominaisuuksiin, jolloin ulkotilojen pakkasenkestävät tasoitteet rajautuvat pois. Tasoitettavien pintojen osalta keskitytään betonialustoihin, joista on valittu kolmea eri tyyppiä ja kahta eri lujuutta edustavat betonit.

Betonien tavoitelujuuksiksi asetettiin 20 MPa ja 35 MPa. Ne ovat välipohjalaatoissa ja seinärakenteissa yleisiä lujuuksia. Juuri näiden rakenteiden kuivumista koekappaleiden kuivumistarkastelussa pyritään tutkimaan.

Sideaineiksi koekappaleisiin valittiin normaalisti kovettuva Portlandsementti, nopeasti kovettuva Portlandsementti ja erittäin nopeasti kovettuva Portlandsementti. Nämä ovat Suomessa käytetyimmät sideainetyypit. Huokostettu betoni valittiin yhdeksi koebetoniksi, koska sen tiedettiin olevan nopeasti kuivuva aikaisempien kokeiden perusteella.

Kokeissa käytetyt tasoitteet valittiin niin, että ne edustavat kaikkia markkinoilla olevia erityyppisiä tasoitteita ja niiden valmistajat ovat suurimpia toimittajia suomessa. Seinätasoitteiksi valittiin: märkätasoite Breplasta W, sementtipohjainen tasoiite Rudus seinätasoite SH, kuivien tilojen liimapohjainen tasoiite Kestonit LH ja kosteiden tilojen liimapohjainen tasoiite Vetonit K. Lattiatasoitteiksi valittiin: kaseiinia sisältävä sementtipohjainen lattiatasoiite Vetonit 2000, kaseiiniton sementtipohjainen lattiatasoiite Ardurapid 55 ja 2-komponenttinen lattiatasoiite, jossa on hydraulinen sideaine ja muovidispersiokovete, Cascoplan 2.



### 3. Kirjallisuustutkimus

#### 3.1 Tasoitteet

##### 3.1.1 Tasoitteiden tutkimusmenetelmät

Tasoi-tekerrokseen kohdistuu lattiassa samat rasitukset kuin koko aluslattiaankin. Näin ollen tasoi-tekerroksesta on usein muodostunut lattian heikoin kohta. Tämä tulisi jo suunnittelussa ottaa huomioon. Mikäli rasitukset ovat suuret, on syytä luopua tasoi-tuksesta ja vaatia betonilattian pinnalta riittävä tasaisuus. Tasoi-teille asetettavat vaatimukset, jotka perustuvat laboratoriokokeisiin, eivät useissa tapauksissa pysty ottamaan huomioon kaikkia niitä tekijöitä ja olosuhteita, joita käytännössä esiintyy. Tällaisia ovat esimerkiksi tasoi-tekerroksen paksuus, alustan laatu, kovettumisolosuhteet ja työtekniikka. Tiettyjen ominaisuuksien tunteminen ja testivaatimusten asettaminen niille helpottaa tasoi-teen valintaa. Tässä esitetyt vaatimukset tarkoittavat tasoi-teen minimivaatimuksia. Jos lattioihin kohdistuu kevyttä toimistoliikennettä suurempia pyörärasituksia, aiotun päällysteen ja tasoi-teen soveltuvuus on selvitettävä kokein tai muulla luotettavalla tavoin.

##### Kutistuminen

Tasoi-te ei kovettuessaan saa kutistua niin, että pinta halkeilee tai massa irtoaa alustasta. Ennen kovettumista ei massassa saa häiritsevässä määrin tapahtua eri ainesosien erottumista kerroksiksi, josta seurauksena voi olla jokin kerroksen (yleensä pinnan) voimakas kutistuminen.

##### Testausmenetelmät:

Massan kutistuminen kovettumisen aikana mitataan 10 mm paksuisesta kerroksesta mikroskoopin avulla (menetelmä 13, Bring 1968). GEBO:n menetelmän (GEBO 1979, TK-RÅD 1972) mukaan betonilaatan pinta tasoi-tetaan 2 mm paksuisella ker-



roksella +23°C lämpötilassa ja 50% suhteellisessa kosteudessa.

#### **Vaatimukset:**

Koe tehdään 2 mm paksuiselle tasoitekerrokselle, jossa 24 tunnin kuluttua ei saa olla halkeamia (GEBO 1979, TK-RÅD 1972). Testi tulisi tehdä myös valmistajan suosittelemalle suurimmalle kerrosvahvuudelle; esimerkiksi oikaisutasoite 50 mm, yleistasoite 10 mm, hienotasoite 3 mm ja pumpattava tasoi- te 15 mm.

#### **Kuormituksen kestävyys**

Lattia joutuu sekä staattisen että dynaamisen kuormituksen kohteeksi. Raskaiden esineiden alla saattaa tasoi- te murtua pysyvien painumien lisäksi. Suurimman rasituksen aiheuttaa kuitenkin pyörillä tapahtuva liikenne. Tasoitteeseen kohdis- tuvaan rasitukseen vaikuttavat myös päällysteen ja liiman ominaisuudet.

#### **Staattinen kuormitus**

##### **Testausmenetelmät:**

Painuma määritetään lyhytaikaisessa kokeessa standardin SFS 3937 mukaan. Testaus tehdään yleensä 2 mm paksulla tasoi- tekerroksella, joka on saanut kovettua sekä 24 h että 7 h (23°C, 50% RH). Kuormitus kokeessa on 500 N.

#### **Vaatimukset:**

Painuma lyhytaikaisessa kokeessa (2mm kerros) SFS 3937, saa olla korkeintaan 0,3 mm (GEBO 1979, TK-RÅD 1972). Koska ta- soitekerroksen paksuudet käytännössä ovat paljon suuremmat, tulisi testata myös valmistajan suosittemat suurimmat pak- suudet. Mikäli halutaan arvioida pitkäaikaisen kuormituksen vaikutusta, käytetään koekappaletta, jossa on mukana liimattu päällyste. Tällöin suoritus aika on 7 d ja kuorma 250 N (Bring 1968).



## Dynaaminen kuormitus

### Testausmenetelmät:

Dynaamisen kuormituksen kestävyyttä arvioidaan parhaiten testausmenetelmän SFS 3938 avulla. Betonilaatta tasoitetaan 2 mm paksuisella kerroksella, puolet pinnasta hiotaan ja 1,5 mm homogeeninen PVC-matto kiinnitetään dispersioliimalla pintaan. Tämän jälkeen pinta joutuu kuormitetun (250 N) toimistotuolipyörän (halkaisija 45 mm, leveys 20 mm) liikkeessä aikaansaaman rasituksen alaiseksi. Pyörän liike tapahtuu kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa eri nopeudella. Kun nopeimmassa suunnassa on ajettu 10000 edestakais- ta liikettä, koe lopetetaan ja määritetään päällysteen tartunta kohtisuoraan pintaa vastaan vetokokeen avulla. Tartuntakokeet tehdään sekä hiotulta että hiomattomalta ja rasite- tulta ja rasittamattomalta alueelta. Tässä kokeessa tutki- taan yhtä hyvin liimaa kuin tasoitettakin lähinnä käytäntöä vastaavissa olosuhteissa.

### Vaatimukset:

Standardin SFS 3938 mukaisessa testauksessa päällysteen tar- tunnan on oltava suurempi tai yhtä suuri kuin 0,5 MPa (GEBO 1979, TK-RÅD 1972, Norsk ER-nemnd 1978). Testaukseen tulisi ottaa mukaan myös paksummat tasoitekerrokset valmistajan ker- rospaksuutta koskevan suosituksen mukaan sekä mahdolliset esisivelyaineet (tartunnan parantamiseksi) tai tasoitteen pinnassa käytettävät siveltävät kosteuseristeet.

### Taivutusveto- ja puristuslujuus

Sementtipohjaisten laastien arvioinnissa on yleensä totuttu käyttämään niiden ns. prismalujuuksia. Käytettäessä ohuita tasoitekerroksia tällainen prismalujuus tuskin antaa oikeaa kuvaa, koska prismat kovettuvat täysin hallituissa olosuh- teissa, kun sen sijaan ohuet kerrokset lattiassa ovat hyvin riippuvaisia ympäristön olosuhteista. Paksujen tasoiteker- rosten lujuuden arvioinnissa saattaa testituloksista olla apua.



**Testausmenetelmä:**

Tasoteprismojen (25 mm \* 25 mm \* 170 mm) lujuuden määrittäminen on SFS 2803 ja vastaava norjalainen NBI 66/73.

**Vaatimukset:**

Norjalaiset (Norsk ER-nemnd 1978) ovat asettaneet puristuslujuuden vähimmäisvaatimukseksi 5 MPa.

**Kemiallinen kestävyys**

Tasotekerros joutuu sekä liiman että alustasta mahdollisesti tulevan kosteuden vaikutuksen alaiseksi. Lisäksi käytetään erilaisia sivelyaineita sekä alusbetonin että tasoitteen pinnassa. Jotta voidaan varmistua eri kerrosten yhteensopivuudesta, koko poikkileikkaus liimattava päällyste mukaanluettuna on tutkittava. Tämän tutkimuksen tulisi kuulua tuotekehitykseen oleellisena osana ja niin, että tulokset olisivat tukemassa tarvikkeiden valintaa. Suppeiden laboratoriokokeiden avulla voidaan vain varmistua muutamien tavallisimpien aineiden kestävyydestä eikä suinkaan taata yhteensopivuutta kaikkien kysymykseen tulevien aineyhdistelmien kanssa.

**Testausmenetelmä:**

Testaus perustuu siihen, että tutkittavan aineen annetaan vaikuttaa tasoitteen pintaan tietyn ajan. Tämän jälkeen tehdään silmämääräiset havainnot (kutistuminen, halkeilu, liukeneminen ym.) sekä määritetään painuma lyhytaikaisessa kokeessa SFS 3937 joko heti ja/tai tietyn ajan kuluttua (menetelmä 34 Bring 1968). Tutkittava ainevalikoima riippuu lattian käyttötarkoituksesta (kemiallinen teollisuus, märät tilat ym.) sekä liimaustavasta. GEBO:n (GEBO 1979, TK-RÅD 1972) mukaan testaus tehdään vedellä, emäksisellä vedellä (kyllästetty  $\text{CaSO}_4$ :n ja  $\text{Ca(OH)}_2$ :n suhteen sekä 0,01-normaali- sen KOH:n ja NaOH:n suhteen) sekä etyylialkoholilla. On ehdotettu, että etyylialkoholiin lisätään 50% asetonia, jolloin se vastaisi paremmin nykyisiä liuoteliimoja.



## **Vaatimukset:**

Tasoitekerroksen (2 mm) painuma 24 tunnin kemikaalin vaikutuksen jälkeen ja 24 tunnin kuluttua mitattuna standardin SFS 3937 mukaan ei saa ylittää 0,3 mm (GEBO 1979, TK-RÅD 1972, Norsk ER-nemnd 1978). Tanskalaisten (Jydsk Teknologiska Institut 1978) ehdotuksessa vaikutusaika on kolme vuorokautta ja painumakoe tehdään viisi minuuttia kemikaalien poistamisen jälkeen.

## **Vetolujuus ja venymä**

Näillä ominaisuuksilla on merkitystä arvioitaessa tasoitekerroksen kestävyyttä aluslattiassa olevien halkeamien kohdalla. Testausmenetelmä on esimerkiksi NBI 108/77.

## **Viskositeetti**

Viskositeetillä on merkitystä massan työstettävyyden kannalta. Menetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi Nordtest-prosjekt 39-76 förslag 3.

## **Kosteuden vaikutus tasoitteen muodonmuutoksiin**

Tasoitekerros voi joutua aluslattiasta tai päällysteen läpi (esimerkiksi saumoista) tulevan kosteuden vaikutuksen alaiseksi. Mikäli kosteus vaikuttaa tasoitteeseen joko laajentavasti tai kutistavasti voi seurauksena olla sen irtoaminen alustasta. Arviointimenetelmän perustana voidaan käyttää menetelmää n:o 12 (Jydsk Teknologisk Institut 1978), jossa tarkkaillaan tasoiteprisman muutoksia esimerkiksi seuraavissa olosuhteissa +23°C ja 30% RH, +23°C ja 50% RH, +23°C ja 90...100% RH sekä vesisäilytyksessä. Tasoitteen käyttäytymisestä saatuja tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon myös tasoitteen tartunta ja elastisuus (taivutusvetolujuus ja kimmomoduuli). (Siro et. al. 1980, s. 47-53).



### 3.1.2 Tutkimustulokset tasoitteista

Tasoitteista on tutkittu (Rautiainen 1990, s. 3-21) kuivumisnopeutta, vesihöyrynläpäisevyyttä, tasapainokosteutta ja ammoniakin ja muiden emäksisten kaasujen erittymistä.

Ohuiden 5 ja 10 mm paksuisten tasoittekerrosten kuivuminen on kaikilla tasoitteilla nopeata. Puolet kosteudesta haihtuu yksipuolisessa kuivumisessa alle kahdessa vuorokaudessa ja kaksi kolmasosaa pääosassa tasoitteita 3-4 vuorokaudessa. Paksummat 20-50 mm tasoittekerrokset vaativat pitemmän 4-13 vuorokauden kuivumisajan puoleen haihtuvasta kosteudesta ja 6-30 vuorokauden kuivumisajan kahteen kolmasosaan haihtuvasta kosteudesta, kun ympäristön kosteus on 90% RH ja kuivuminen yksipuolista. 50%:n kosteudessa tasoitteet kuivuivat pääosin selvästi nopeammin kuin 90%:n kosteudessa.

Tasoitteiden (kolme tyyppiä) mitatut vesihöyrynläpäisyt vaihtelivat välillä  $0,16 \cdot 10^{-9}$  -  $1,4 \cdot 10^{-9}$  kg/m<sup>2</sup>sPa riippuen tasoitteityypistä ja sen kuivumisolosuhteista. Verrattaessa 10 mm paksuilla tasoittekoekappaleilla mitattuja vesihöyrynläpäisyjä betonin vesihöyrynläpäisyyhin, jotka 100 mm paksuisella betonilla voivat olla välillä  $0,2$  -  $0,1 \cdot 10^{-9}$  kg/m<sup>2</sup>sPa betonista riippuen on pääteltävissä että tasoitteet ja betonit ovat vesihöyrynläpäisyltään samaa suuruusluokkaa. Tasoitteiden kuivumisolosuhteet näyttävät vaikuttavan niiden vesihöyrynläpäisyominaisuuksiin. Koska eri tasoitteiden vesihöyrynläpäisyssä voi olla yli kymmenkertaiset erot tulisi vesihöyrynläpäisy eri tasoittepaksuuksilla olla tiedossa tasoitetun märän lattian kuivumisnopeutta arvioitaessa ja tasoitteevalintaa tehtäessä. Tulosten mukaan voidaan hitaasti läpäisevän tasoitteen valinnalla hidastaa märän lattian kuivumisnopeus kymmenenteen osaan tai vieläkin hitaammaksi jos käytetään suurempia tasoittepaksuuksia. Toisaalta läpäisevämpi tasoitte ei juuri hidasta tavanomaista betonin kuivumista.

Kokeissa oli mukana tasoitteita, joista valmistajan ilmoituksen mukaan yksi sisälsi kaseiinia ja muut tasoitteet sisälsivät orgaanisia lisäaineita, joista poltettaessa muodostui emäksisiä kaasuja ja joista osasta erittyi ko. kaasuja myös



kostutettaessa. Käytetty mittausmenetelmä voi tulkita kaasumaisen amiinin ammoniakiksi. Ammoniakin ja amiinien on todettu voivan aiheuttaa lattianpäällysteiden värjäytymistä ja hajuongelmia. Tasoitteissa ja myös lattiabetoneissa tulisi välttää ammoniakkia tai amiineja muodostavien lisäaineiden käyttöä, koska nykyiset päällystettävyyys-kosteusrajat esim. 90% ovat riittävän korkeat aiheuttaakseen ko. tyyppisten aineiden hajoamista emäksisessä ympäristössä. Lisäaineet tai niiden hajoamistuotteet voivat myös tehdyn koesarjan mukaan siirtyä tasoitetussa määrässä lattiassa. (Rautiainen 1990).

### 3.1.3 Kartoitus tasoitteista

Päällysteen aluslattian betonipinta joudutaan tasoittamaan, jos sen tasaisuus ei sellaisenaan tai hiottuna täytä asetettuja vaatimuksia. Tasoitetta valittaessa otetaan huomioon lattiaan kohdistuvat rasitukset, jotka luokitellaan seuraavasti:

pienet rasitukset - asunnot

keskisuuret rasitukset - toimistot, koulut, sairaalat  
eräitä erikoistiloja lukuun  
ottamatta

suuret rasitukset - varastot, teollisuus.

Jos lattialla on kevyttä toimistokäyttöä suurempaa pyöräliikennettä, suositellaan tasoitekerroksen välttämistä. Tasoitetta ei tule käyttää kohteissa, joihin kohdistuvat suuret rasitukset.

Tasoitteen jaon perustana voidaan pitää esimerkiksi niiden käyttötapoja.

**Oikaisutasoitteet**, joilla aikaansaatavan tasoitekerroksen pienin paksuus on 2\*kiviaineksen suurin raekoko (n. 2 mm) ja suurin paksuus 10...50 mm yhdellä tasoituskerralla riippuen tasoitetyypistä. Pinta tasoitetaan tarvittaessa pintatasoit-



teella.

**Pintatasoitteet** voidaan jakaa edelleen seuraaviin ryhmiin:

- yleistasoite, jota voidaan käyttää 1...10 mm:n paksuisina kerroksina
- hienotasoiite, jota voidaan käyttää 0,1...3 mm:n paksuisina kerroksina.

**Pumpattavat tasoitteet**, joiden koostumus on sellainen, että ne pumpattaessa levittyvät lattialle muodostaen homogeenisen kerroksen ja suoran pinnan. Tasoitekerroksen paksuuden tulisi olla 3...15 mm.

Tasoitteiden tavallisimmat koostumukset ovat:

- sementti, hiekka, lisäaineet, vesi
- sementti, hiekka, täyteaineet sekä vesi, johon sekoitetaan muovidispersiota (esimerkiksi PVAc tai SBR eli styreenibutadieenilateksi)
- muovisideaineet ja kiviaines
- kipsi, kiviaines, vesi (tätä ei nykyisin käytetä Suomessa).



## 3.2 Betonin rakenne

Betoni voidaan käsittää komposiittimateriaaliksi joka koostuu kahdesta kiinteästä faasista, sementtikivistä ja runkoaineesta. Betonin seosveden oletetaan yleensä kokonaisuudessaan olevan sementtikivessä, jolloin betonin kosteuskäyttäytyminen suurelta osin riippuu sementtikiven ominaisuuksista. Tätä tarkastelutapaa sovelletaan myös tässä työssä. Sementtikiven rakenteeseen taas toisaalta vaikuttavat runkoaineen ja ilmahuokosten määrä ja jakauma.

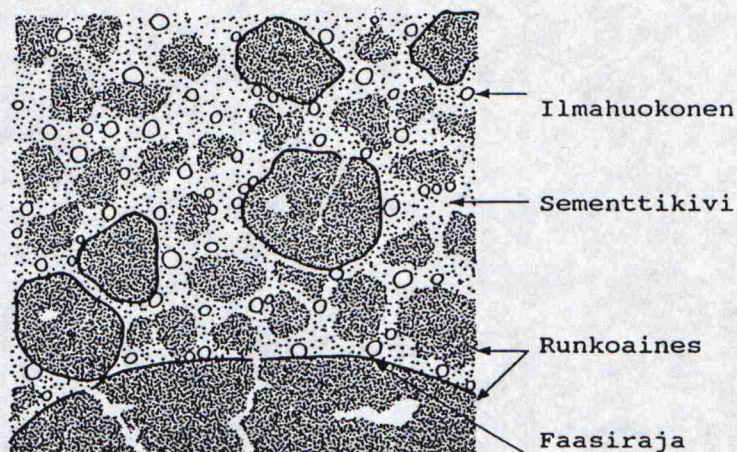
### 3.2.1 Sementtikiven rakenne

Sementtikivi muodostaa betonin jatkuvan faasin, joka ympäröi eri kokoisia runkoainesrakeita. Kovettunut sementtikivi muodostuu sementin sisältämien silikaattien ja veden kemiallisesti sitoutuneista hydrataatiotuotteista sekä huokosista. Normaalibetoneilla sementtikiven tilavuusosuus betonista on noin 25...30 % ja runkoaineen osuus noin 70...75 %. Tällöin ei ole otettu huomioon betonin sekoitusvaiheessa syntyvää ilmapitoisuutta, joka normaalibetoneilla on noin 1...2 %.

Ilmahuukokset jotka ovat kooltaan yli 0,01 mm:ä, muodostuvat betonin sekoituksessa ja epätäydellisessä tiivistyksessä. Lisäksi ilmahuukosia voidaan muodostaa lisäaineitten avulla.

Sementtikiven ja runkoaineen välillä voidaan lisäksi erottaa näiden kahden faasin raja-alue eli faasiraja. Tämä faasiraja on hyvin ohut (15...25  $\mu\text{m}$ ), mutta sen ominaisuudet poikkeavat suuresti sekä sementtikiven että runkoaineen ominaisuuksista. Käytettäessä normaalia ei-huokoista runkoainesta on faasirajan huokoisuus suurempi kuin muun rakenteen. Tämän vuoksi faasiraja on myös heikompi. Faasirajalla on suuri vaikutus betonin veden- ja kaasunläpäisevyyteen, vaikka sen huokoisuudella ei ole suurta merkitystä betonin kokonaishuokoisuudelle (Kim Johansson 1991, s. 9-10).





Kuva 1. Skemaattinen kuva betonin rakenteesta noin kymmenkertaisena suurennoksena (Betonghandbok 1980, s. 172).

Sementtikiven ominaisuudet määräytyvät suurelta osin sen huokoisuuden ja huokosjakauman mukaan. Nämä taas ovat riippuvaisia betonin iästä, vesisementtisuhteesta ja tiivistyksestä.

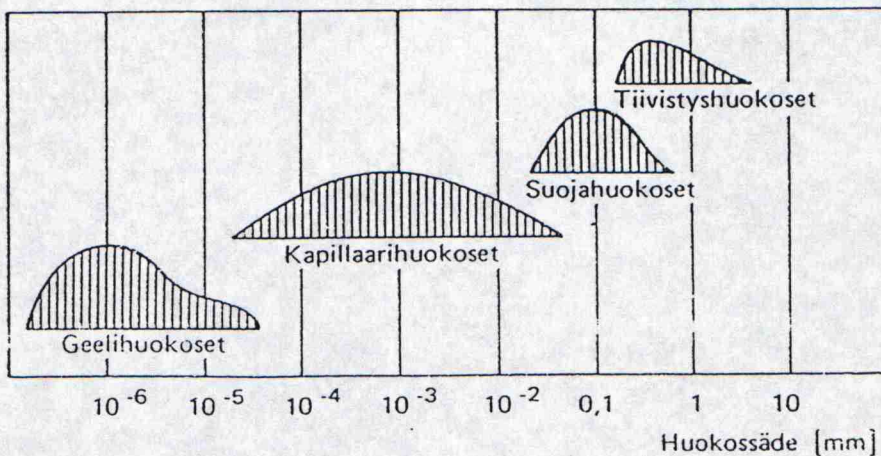
### 3.2.2 Betonin huokosrakenne

Sementtikiven ja betonin kuivumisessa oleellista on kovettuneen sementtikiven ominaisuudet, koska betonin kuivatusta ei voi aloittaa ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Jotta voitaisiin tutkia betonin kuivumista on tunnettava sementtikiven rakenne.

Kovettunut sementtikivi koostuu sementtigeelistä, huokosista ja hydratoitumattomasta sementistä. Betonirakenteen kuivumisen suhteen keskeisessä asemassa on betonin veden- ja kaasujenläpäisevyys. Tämä määräytyy puolestaan betonin huokosrakenteen perusteella. Kovettuneen betonin huokoisuuden määrää sementtikiven huokoisuus. Suomalainen runkoaineena käytettävä kiviaines on puolestaan erittäin tiivistä. Sementtikiven



huokosista on eroteltavissa geelihuokokset, kapillaarihuokokset, suojahuokokset ja tiivistyshuokokset. Suojahuokosia ja tiivistyshuokosia voidaan nimittää myös ilmahuokosiksi (Laamanen 1991, s. 26).

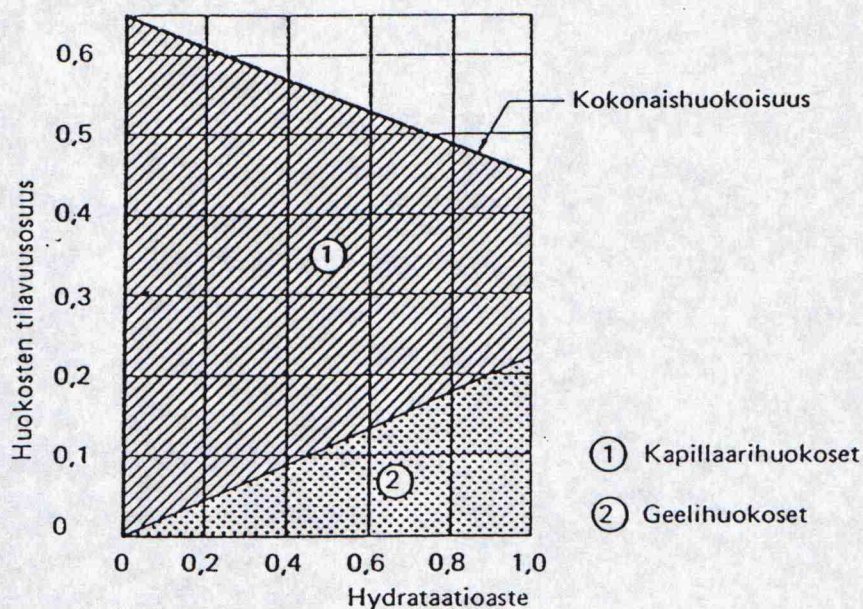


Kuva 2. Betonin huokosrakenne (CEB Design Guide. 2nd Edition 1989, s. 55).

### 3.2.3 Geelihuokokset

Geelihuokokset ovat sementtikiveen muodostuvista huokosista pienimpiä, kooltaan 1,5..2nm. Geelihuokokset muodostuvat hydrataation yhteydessä niiden osuuden betonin kokonaistilavuudesta kasvaessa hydrataation edetessä. Geelihuokokset muodostuvat geelihiukkasten väliin.





Kuva 3. Hydrataatioasteen vaikutus sementtikiven geeli- ja kapillaarihuokosten tilavuusosiin vesisementtisuhteella 0,6 (By 32 1989, s. 32).

#### 3.2.4 Kapillaarihuokokset

Kapillaarihuokokset ovat kooltaan vaihtelevia, läpimitaltaan keskimäärin  $10^{-3}$  mm olevia pitkulaisia huokosia. Kapillaarihuokokset syntyvät betonimassaan sekoitettavasta hydrataation suhteen ylimääräisestä vedestä, joka on tarpeen massan työstettävyyssominaisuuksien saavuttamiseksi. Tämä on vettä, joka ei ole sitoutunut hydrataatiossa eikä ole joutunut geelihuokosiin. Teoriassa kapillaarihuokosia syntyy silloin kun massan vesisementtisuhte on suurempi kuin 0,38. Tätäkin pienemmillä vesisementtisuhteilla muodostuu kapillaarihuokosia, koska sementti ei käytännössä hydratoidu täysin. Vesisementtisuhteen ollessa portlandsementtibetonissa 0,7 tai suurempi syntyy betoniin yhtenäinen kapillaariverkosto.



### **3.2.5 Supistumishuokokset**

Supistumishuokokset ovat kooltaan samaa kokoluokkaa kuin kapillaarihuokokset. Syntytavaltaan ne eroavat toisistaan siten, että supistumishuokokset muodostuvat veden sitoutuessa kemiallisesti.

### **3.2.6 Ilmahuokokset**

Tiivistyshuokokset syntyvät huonon tiivistyksen takia ja voivat olla läpimitaltaan useita millimetrejä. Tiivistyshuokosiin ei voida vaikuttaa jälkihoidolla vaan niiden rajoittaminen edellyttää huolellisuutta tärytyksessä, hierrossa ja jälkitärytyksessä. Tiivistyshuokokset vaikuttavat betonin ulkoasuun ja heikentävät betonin lujuus- ja säilyvyysominaisuuksia.

Suojahuokokset ovat pyöreitä, kapillaarihuokosia huomattavasti suurempia huokosia, halkaisijaltaan 0,01-1 mm. Suojahuokokset syntyvät massassa olevasta ilmasta tai huokostavien lisäaineiden vaikutuksesta. Suojahuokokset eivät täyty kapillaarisesti, vaan pysyvät ilmatäytteisinä ja ne voivat ottaa vastaan kapillaarihuokosissa olevan jäätyvän veden paineen ja parantavat näin betonin pakkasenkestävyyttä.

### **3.2.7 Kaasujen- ja vedenläpäisevyys**

Yhtenäinen kapillaariverkosto on betonin kuivumisen kannalta merkittävä, koska kapillaariverkosto mahdollistaa veden ja kaasun nopeahkon siirtymisen betonissa. Permeabiliteetti eli kaasujenläpäisevyys kasvaa voimakkaasti kapillaarihuokosten määrän kasvaessa. Jälkihoidolla on merkittävä vaikutus betonin pintakerroksen kaasujenläpäisevyyteen. Jälkihoidon vaikutus alkaa kuitenkin hävitä 40..50 mm syvyydessä betonin pinnasta. Betonin vedenimukykyä kuvataan absorptiokertoimella.

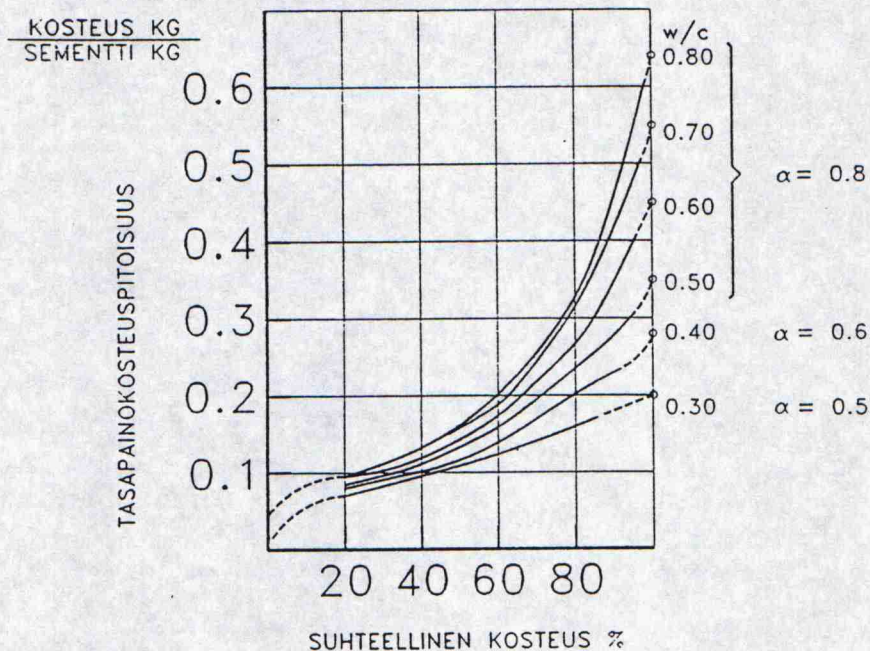


### 3.3 Betonin kuivuminen

#### 3.3.1 Tasapainokosteuspitoisuus

Betoni huokoisena aineena kykenee sitomaan itseensä ympäristöstään kosteutta. Mitä suurempi ympäristön suhteellinen kosteus sitä enemmän kosteutta betoniin sitoutuu. Jokaisella materiaalilla, joka on tasapainossa ympäristönsä kanssa, on olemassa hygroskooppinen tasapainotila, tasapainokosteus, joka kasvaa ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa. Huokoisen materiaalin tasapainokosteuskäyrä, sorptiokäyrä ilmaisee kuinka paljon vettä materiaaliin voi sitoutua sen ollessa tasapainossa ympäristönsä kanssa.

Sorptiokäyrän muoto riippuu siitä onko tasapainotila saavutettu kastumisen vai kuivumisen kautta. Tätä ilmiötä kutsutaan hystereesiksi. Koska sorptiokäyrät ovat riippuvaisia myös lämpötilasta, käytetään sorptioisotermejä, joko adsorptioisotermejä tai desorptioisotermejä. Edellinen kuvaa kastumista ja jälkimmäinen kuivumista.



Kuva 4. Kuivuvan betonin suhteellisen kosteuden ja tasapainokosteuspitoisuuden välinen riippuvuus (Orantie 1988, s. 16).



Koska sorptiokäyrät ovat erilaiset, rakenteen kosteushistoria on tiedettävä määritettäessä tasapainotilaa, eli tasapainokosteus on erisuuruinen riippuen siitä, onko rakenne saavuttanut tasapainotilan kastumalla vai kuivumalla. Kuivaamalla saavutettu tasapainokosteuspitoisuus on suurempi kuin kastumalla saavutettu.

### **3.3.2 Betonin rakennekosteus**

Betonin rakennekosteus on rakennusvaiheessa betoniin sitoutunutta vettä, jonka pitäisi poistua rakenteesta, jotta se saavuttaisi tasapainotilan ympäristönsä kanssa. Tämä tasapainotila riippuu tunnetusti ympäristön lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Betonin sisältämä vesi koostuu massan valmistuksessa käytettävästä vedestä ja mahdollisesta jälkihoidossa käytettävästä vedestä tai sadevedestä. Runkorakenteissa lisävesi tulee yleensä sadevedestä ja pintalattioissa mahdollisesta jälkikastelusta.

Tavallisesti ennen betonin päällystämistä pyritään tiettyyn päällystekohlaiseen betonin kosteustilaan, niin sanottuun kriittiseen kosteustilaan tai sen alle. Tämä tarkoittaa sitä betonin kosteustilaa, jota pienempi kosteus ei ole haitallista pinnoitteille. Tämä tarkoittaa samalla sitä, että kaikki betonin sisältämä vesi ei ole haitallista. Haitallista on ainoastaan betonin kriittisen kosteustilan ylittävä kosteus.

### **3.3.3 Haihtumiskuivuminen**

Betonin kuivumisella tarkoitetaan vapaan veden poistumista betonista. Betonin kuivuminen voidaan jakaa kahteen erityyppiseen kuivumistapaan: sitoutumiskuivumiseen ja siirtymiskuivumiseen.

Siirtymiskuivumisella tarkoitetaan veden siirtymistä nesteenä tai kaasuna kappaleen sisältä rajapintaan, josta se poistuu ympäristöön nesteenä ja/tai vesihöyrynä. Usein puhutaan siirtymiskuivumisen sijasta haihtumiskuivumisesta, koska kui-



vuminen useimmiten tapahtuu veden haihtumisena ympäröivään ilmaan (Pihlajavaara 1964, s. 40-41).

Betonin haihtumiskuivuminen voidaan yksinkertaistaen jakaa kahteen pääjaksoon:

I Kuivumisjakso, jonka kesto on suhteellisen lyhyt ja riippuu ilman virtausnopeudesta, mutta ei yleensä betonin ominaisuuksista; betonin pinta on enemmän tai vähemmän märkä tai kostea.

II Kuivumisjakso, jonka kesto on suhteellisen pitkä ja riippuu betonin kosteudenjohto-ominaisuuksista ja ulottuvuuksista, mutta ei ilman virtausnopeudesta; betonin pinta näyttää kuivalta. Vesi haihtuu pinnalta sitä mukaa kuin sitä saapuu betonin sisäosista. Tavallisilla betoneilla kosteudenjohtavuus, ja siis haihtumisnopeus, on niin pieni että ilman virtausnopeus ei vaikuta merkittävästi kuivumisnopeuteen. Tästä seuraa, että betonin ohuen pintakerroksen kosteuspitoisuus ei merkitsevästi eroa tasapainokosteuspitoisuudesta (Pihlajavaara 1964, s. 37-38).

#### **3.3.4 Sitoutumiskuivuminen**

Sitoutumiskuivumisella tarkoitetaan haihtuvan vesipitoisuuden eli kosteuden vähentymistä betonista sementin hydrataation takia. Sitoutumiskuivuminen voidaan myös määritellä sitoutuneen vesipitoisuuden lisääntymiseksi nimenomaan hydrataation seurauksena.

#### **3.3.5 Kosteuden siirtyminen betonissa**

Rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta on perinteisesti arvioitu ns. kastepistelaskelmilla eli rakenne on katsottu kosteusteknisesti toimivaksi, jos vesihöyryn osapaine ei saavuta kyllästysarvoa rakenteessa. Kehittyneempi tapa arvioida rakenteen kosteusteknistä toimivuutta on ns. diffuusiomenetelmä: Rakenne on kosteusteknisesti toimiva, kun kullekin ra-

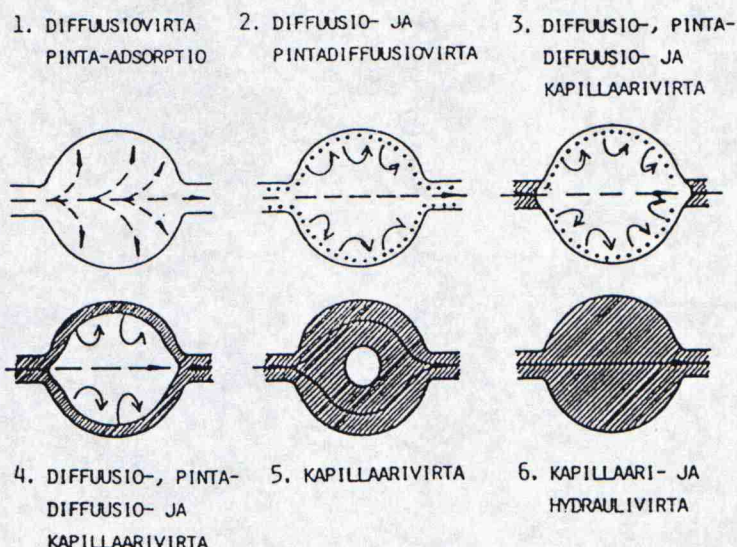


kenteen kerrokselle nettokeräytymä vuositasolla on nolla.

Kosteuden siirtopotentiaalit ovat vesihöyryn osapaine ja lämpötila. Valitaan kuiva, kapillaarisesti huokoinen kappale, joka tuodaan vesihöyryä sisältävään ympäristöön. Kosteuskehtän edetessä huokosten seinämille absorboituu ns. monomolekulaarinen vesikerros, joka on liikkumaton. Vesihöyryn paineen kasvaessa vesikerroksen paksuus kasvaa ja päällimmäisten vesimolekyylien sidosenergia voi jäädä niin pieneksi, että ne voivat palata takaisin huokosen kaasufaasiin. Pinta-absorptio on kuitenkin mahdollista välittömästi irtautumisen jälkeen.

Tätä liikkuvien vesimolekyylien aiheuttamaa kosteuden siirtymistä kutsutaan pintadiffuusioksi, joka on kaasufaasin diffuusion suuruusluokkaa vesihöyryn suhteellisilla höyrynpaineilla  $= 0,40-0,60$ . Suhteellinen höyrynpaine on vallitsevan höyrynpaineen suhde vapaan veden höyryn kyllästyspaineeseen. Höyrynpaineen edelleen noustessa ( $\phi = 0,8-0,9$ ) mahdollistuu ns. kapillaarikondenssi. Kapillaarikondensaatin paine määräytyy pääasiassa vallitsevan höyrynpaineen, kapillaarin koon (säteen) ja lämpötilan mukaan. Kapillaarikondensaatti on korkeassa vetojännityksessä, mistä syystä kapillaaripainetta kutsutaan suktioksi (imuksi). Kapillaarisesti huokoiselle materiaalille  $\phi = 1,0$  vastaa tilannetta, jossa kosteuden absorboitumiseen liittyvät sidosenergiat ovat merkityksettömiä eli kappaleessa oleva kosteus on ns. vapaata vettä. Ympäristön vesihöyryn osapaineen ja kappaleeseen tasapainotilassa absorboituneen kosteuden välistä kuvaajaa kutsutaan sorptioisotermeiksi (tasapainokosteuskäyrät) (Pihlajavaara 1964, s. 50-54).





Kuva 5. Kosteuden absorptio vaiheet (Orantie 1988, s. 12).

Ilmatäytteisissä huokosissa kosteuden siirtyminen tapahtuu diffuusiona ja veden täyttämässä huokosissa kapillaarisena imuna. Kosteuden siirtymistä ajavana voimana (potentiaalina) on diffuusiosta joko vesihöyryn pitoisuuserot tai vesihöyryn osapaine-erot kappaleen eri osissa. Kapillaarisessa imussa potentiaalina on huokosveden paine.

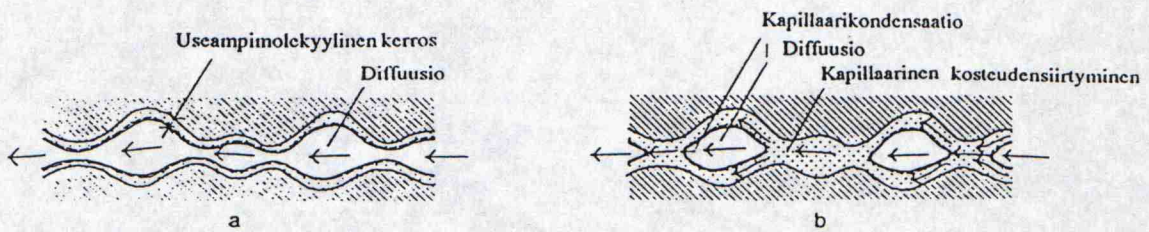
Betonin huokosrakenteen takia on kosteuden siirtyminen lähes aina näiden kahden siirtymismuodon yhdistelmä. Tämän takia on hyvin käytännöllistä kuvata kosteuden siirtymistä betonissa vain yhden siirtymiskertoimen avulla, joka yhdistää nämä kaksi siirtymismuotoa. Kyseinen yksinkertaistus ei normaali-tapauksissa aiheuta merkittävää virhettä laskelmissa (Nilsson 1980, s.38-39). Yleisesti kosteuden siirtymistä voidaan kuvata yhtälöllä

$$\text{virtatiheys} = \text{siirtymiskerroin} * \text{siirtävä voima} \quad (1)$$

Potentiaalina voidaan käyttää joko vesihöyryn osapaine-eroa [Pa] jolloin siirtymiskerroin on vesihöyrynläpäisevyys  $K$  [kg/msPa], tai vesihöyryn pitoisuuseroa [kg/m<sup>3</sup>], jolloin siirtymiskertoimeksi tulee diffusiviteetti  $D$  [m<sup>2</sup>/s].



Vesihöyrynläpäisevyys  $K$  ja diffusiviteetti  $D$  eivät ole vakioita vaan riippuvat betonin suhteellisesta kosteudesta. Syy tähän on kasvavan kosteuspitoisuuden myötä lisääntyvä kapillaarisen imun osuus kosteuden siirtymisessä ja siten kasvava kosteuden siirtyminen. Siirtymiskerroin valitaan aina käytettävän potentiaalin mukaan, ja siksi pitäisi aina siirtymiskertoimen yhteydessä ilmoittaa käytetty potentiaali.

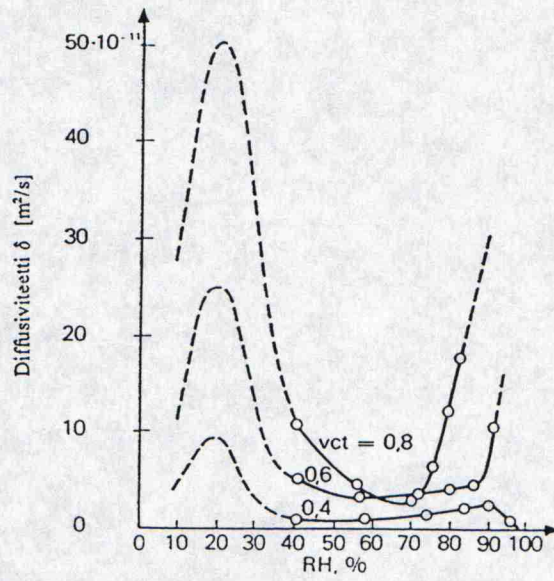


Kuva 6. Periaatteellinen kuva veden siirtymisestä huokossa.

- a) Ainoastaan diffuusion kautta.
  - b) Yhdistetty diffuusio ja kapillaarinen imu.
- (Nevander & Elmarsson 1981, s. 57).

Betonin kuivumisen arvioimisessa käytetään kuitenkin yleensä potentiaalina betonin kosteuspitoisuutta [ $\text{kg/m}^3$ ]. Siirtymiskertoimenä käytetään tällöin diffusiviteettiä  $\delta$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]. Vaikka yksikkö on sama kuin diffusiviteetillä  $D$  eivät kertoimet ole samoja johtuen eri potentiaalista. Käytettäessä potentiaalina kosteuspitoisuutta ei kohonneen lämpötilan kosteuden siirtymistä kiihdyttävää vaikutusta saada esille kaavalla 1. Tämän takia diffusiviteetti  $\delta$  on riippuvainen suhteellisen kosteuden lisäksi myös lämpötilasta. Kosteuspitoisuus ei ole aito kuivumista ajava voima, mutta sitä voidaan hyvin käyttää kuivumislaskelmissa. Tämä edellyttää, että  $\delta$ :n arvo sovitetaan todellisen suhteellisen kosteuden mukaan (Betonghandbok 1980, s. 353-354).





Kuva 7. Diffusiviteetti  $\delta$  kolmelle eri sementtikivelle (Betonghandbok 1980, s.353).



### 3.4 Betonin kuivumiseen ja kuivumisnopeuteen vaikuttavat tekijät

Betonin kuivuminen on hidas prosessi, ja rakenteen kuivuminen tasapainotilaan saattaa kestää useita vuosia. Betonirakenteen pinnoittaminen tiiviisti hidastaa kuivumista tai voi pysäyttää sen kokonaan. Tavoitteena ei yleensä olekaan tasapainotilan saavuttaminen, vaan sellaisen kosteustilan saavuttaminen, jossa kosteus ei aiheuta vaurioita rakenteelle eikä pinnoitteelle.

#### 3.4.1 Betonin koostumus

Perusbetoni koostuu runkoaineesta ja sementtikivestä. Sementtikivi toimii sideaineena ja runkoaine täyteaineena. Betonin vesisementtisuhde on yksi tärkeimmistä betonin kuivumisnopeuteen vaikuttavista tekijöistä, mutta sen vaikutus ei kuitenkaan ole yksioikoinen. Sementtikiven huokoisuus ja siten myös läpäisevyys riippuvat voimakkaasti betonin vesisementtisuhteesta. Nostettaessa vesisementtisuhdetta kasvaa sementtikiven huokoisuus ja samalla sen läpäisevyys, jolloin betonin kuivumisnopeus kasvaa.

Kasvatettaessa vesisementtisuhdetta kasvaa myös rakennekosteuden määrä, jolloin haihdutettava vesimäärä myös kasvaa. Diffusiviteetin kasvu ei välttämättä riitä kompensoimaan tätä ja kuivumisaika tiettyyn suhteelliseen kosteuteen pitenee (Parrot 1988, s. 35). Pienennettäessä vesisementtisuhdetta diffusiviteetti pienenee, mutta samalla vähenee myös haihdutettava vesimäärä.



Taulukko 1. Keskimääräinen diffusiviteetti  $\delta$  28 vrk:n ikäisellä sementtikivellä. Arvot liittyvät kuivatusaikoihin, jolloin puolet ylimääräisestä kosteudesta on poistunut (Betonghandbok 1980, s. 361).

Vesisementti- suhde	$\delta$ [m <sup>2</sup> /s]
0,3	$8 \cdot 10^{-12}$
0,4	$14 \cdot 10^{-12}$
0,5	$22 \cdot 10^{-12}$
0,6	$35 \cdot 10^{-12}$
0,7	$45 \cdot 10^{-12}$
0,8	$60 \cdot 10^{-12}$
0,9	$90 \cdot 10^{-12}$
1,0	$140 \cdot 10^{-12}$

Runkoaineen vesihöyrynläpäisevyyden ollessa nolla, voisi olettaa runkoaineen osuuden kasvun pienentävän läpäisevyyttä ja näin pidentävän kuivumisaikaa. Näin ei kuitenkaan ole, vaan betonin läpäisevyys kasvaa runkoainesosuuden kasvaessa. Runkoaine-sementti-suhteen ollessa alle 2,2 ei vaikutus ole suuri, mutta kasvaa jyrkästi suuremmilla runkoaineosuuksilla. Runkoaine-sementti-suhteen nostaminen yli viiden lyhentää kuivumisaikaa noin 30 % (Nilsson 1980, s. 62-63). Tämä johtune runkoaineen ja sementtikiven faasirajan suuremmasta huokoisuudesta, huonon tiivistettävyyden tuomasta ilmamäärän kasvusta ja mikrohalkeamien lisääntymisestä.

Runkoaineen rakeisuusluvun kasvaessa betonin vedentarve kasvaa, samoin murskatun kiviaineen käyttö lisää vedentarvetta ja siten myös kuivumisaikaa. Tämä lisävedentarve voidaan tietenkin kompensoida esim. notkistimen käytöllä. Suurimman



raekoon pieneneminen taas vaikuttaa kuivumiseen hidastavasti. Betonissa mahdollisesti olevilla mineraalisilla seosaineilla (esim. lentotuhka ja silika) ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta kuivumiseen.

### 3.4.2 Lujuus ja hydrataatio

Betonimassan veden ja sementin välistä reaktiota kutsutaan hydrataatioksi. Hydrataatioreaktion eteneminen riippuu oleellisesti betonin kosteudesta. Jo vähäinenkin kosteuden aleneminen alle 95 % suhteellisen kosteuden vähentää sementin hydrataatiota (Patel 1988, s. 192-197). Vähäminen on voimakkainta 70 - 97 % suhteellisessa kosteudessa, jolloin myös veden kemiallinen sitoutuminen hidastuu ja täten myös kuivuminen (Nieminen et. al. 1991, s. 9).

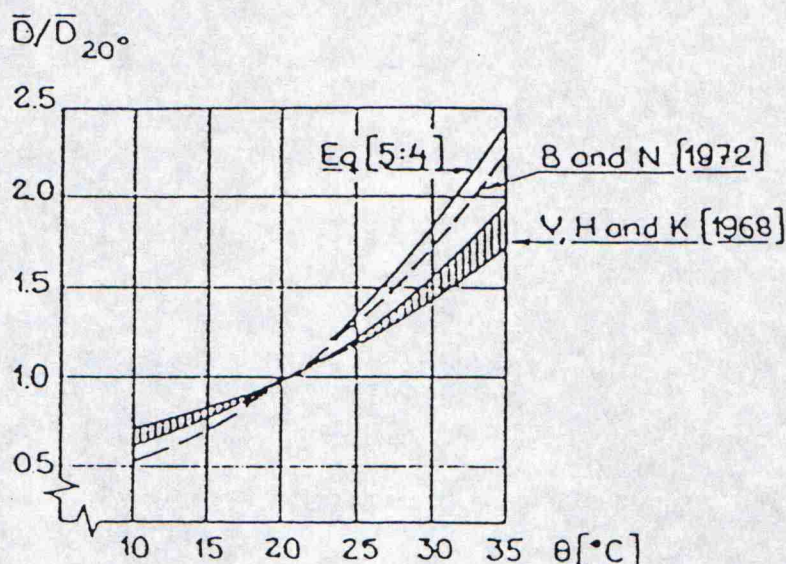
Betonin vesisementtisuhde vaikuttaa oleellisesti lujuuteen. Betonin lujuus ei vaikuta merkittävästi kuivumisaikaan. Syyinä tähän on ilmeisesti se, että vaikka lujuuden kasvaessa rakennekosteuden määrä vähenee, hidastuu rakennekosteuden poistuminen, koska suurempilujuuksinen betoni on samalla myös tiiviimpää (Orantie 1988, s. 22).

### 3.4.3 Ulkoiset olosuhteet

Koska ilman suhteellinen kosteus määritellään joko vesihöyryn osapaineen tai vesihöyrynpitoisuuden mukaan ja molemmat ovat riippuvaisia lämpötilasta, ei ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vaikutusta voida erottaa toisistaan. Ilman lämpötilan noustessa pienenee suhteellinen kosteus, mikäli vesihöyrypitoisuus pysyy vakiona. Tällöin kasvaa rakennetta ympäröivän ilman kyky vastaanottaa rakenteesta haihtuva vesihöyry, eli kuivatusta ajava potentiaali kasvaa. Jo ilman lämpötilan noustessa esim. +20° C:sta +30° C:een vähenee ilman suhteellinen kosteus 90 %:sta 51 %:iin. Potentiaali kasvaa vastaavasti, jos lämpötila säilyy vakiona ja ilman vesihöyrynpitoisuus laskee.



Betonia ympäröivän ilman lämpötilan olisi oltava vähintään  $+20^{\circ}\text{C}$  ja suhteellisen kosteuden alle 50 %, jonka ylläpitämiseksi ilmanvaihdon on oltava riittävä. Betonin kriittisen kosteuden pienentyessä ja kuivatusaikojen kasvaessa, ympäristön ilman suhteellisen kosteuden alenemisesta saatu hyöty kasvaa.



Kuva 8. Lämpötilan vaikutus betonin keskimääräiseen diffusiviteettiin (Betonghandbok 1980, s. 176).

Ilman lämpötilan nostaminen nostaa myös betonin lämpötilaa, jolloin se nopeuttaa myös betonin kuivumista. Tähän vaikuttavat tekijät ovat: Betonin diffusiviteetin kasvu lämpötilan kasvaessa ja kuivumista edistävän potentiaalin kasvu rakenteen lämpötilan kasvaessa. Tämä edellyttää kuitenkin, että ympäristön ja rakenteen välillä on olemassa lämpötilaero. Mitä suurempi tämä lämpötilaero on, sitä suurempi on kuivumista edistävä potentiaali. Potentiaalin kasvua voidaan arvioida vesihöyryn osapaineen avulla. Vesihöyryn osapaine kasvaa lämpötilan funktiona siten, että paineen kasvu on nopeampaa mitä suurempi lämpötila on. Mikäli lämmitettävän huonetilan ilmanvaihto on järjestetty oikein on rakenteen



lämpötila yleensä 5...10° C ilman lämpötilaa matalampi (Nieminen et. al. 1991).

#### 3.4.4 Betonin lisäaineet

Huokostimet ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka betonin seosveteen lisättyinä aikaansaavat betoniin halutun määrän ilmahuokosia. Betonin ilmamäärän lisääminen parantaa betonin pakkasenkestävyyttä, pienentää tiheyttä ja parantaa betonimassan koossapysyvyyttä. Ilmamäärän kasvu pienentää kuitenkin betonin lujuutta. Betonin kuivuminen nopeutuu ilmamäärän kasvaessa.

Betonin ilmahuokokset syntyvät betonimassaan sekoitusvaiheessa sekoitusprosessin tuloksena. Mikäli massassa ei ole käytetty huokostinta, pienillä ilmahuokosilla on taipumus yhdistyä ja muodostaa suurempia huokosia. Koska huokosen nostovoima kasvaa huokosten tilavuuden kolmanteen potenssiin, on suuremmilla huokosilla taipumus nousta massan pintaan ja hajota, jolloin massan ilmamäärä pienenee. Huokostimen ilmamäärää lisäävä vaikutus perustuu niiden kykyyn stabiloida pieniä 0,01...1 mm kokoisia huokosia ja näin estää niiden yhdistymistä suuremmiksi huokosiksi. Huokostimet myös notkistavat massaa.

Huokostimien vaikutus betonin kuivumisnopeuteen perustuu betonin ilmamäärän kasvuun ja sitä kautta myös betonin diffuusiokertoimen kasvuun. Ilmamäärän suuri vaikutus voidaan selittää eräänlaisella komposiittimallilla. Mallissa käsitellään vedestä, sementistä ja ilmasta koostuvaa pastaa ja sen vesihöyrynläpäisevyyttä  $K$ . Sementtikiven ilmamäärän kasvaessa kasvaa myös vesihöyrynläpäisevyys, koska vesihöyrynläpäisevyys on ilmassa noin 100 kertaa suurempi kuin sementtikivellä, ja diffuusio ilmahuokosissa on siksi nopeampaa kuin ympäröivässä sementtikivessä. Ilmaistuna diffuusiokertoimen  $\delta$  avulla saadaan komposiittimallilla ilmamäärän vaikutus diffuusiokertoimeen esitettyä kaavalla (Nilsson 1980, s. 59-62)



$$\delta/\delta_2 = [1-\theta*(1-100^n)]^{1/n} / (1-\theta), \quad (2)$$

jossa  $\delta$  on diffuusiokerroin pastalle ilman ilmaa,  
 $\delta_2$  on laskettava diffuusiokerroin,  
 $\theta$  on pastan ilmamäärä ja  
 $n$  saa arvion  $-1 < n < 0$ .

Notkistimet ja tehonotkistimet ovat pinta-aktiivisia orgaanisia yhdisteitä ja niitä käytetään joko massan notkeuden lisäämiseen tai vedenvähennykseen, jolloin massan notkeus pysyy samana. Notkistimet ja tehonotkistimet vaikuttavat kuivumiseen vedenvähennyksen kautta. Vedenvähennys on käytetystä aineesta riippuen 10...30 % luokkaa ja koko tämä määrä voidaan vähentää rakennekosteudesta. Vesisementtisuhteen pienetessä vähenee sementtikiven huokoisuus ja samalla sen diffusiviteetti, jolloin vesimäärän pienenemistä ei voida hyödyntää kokonaisuudessaan. Muiden lisäaineiden, kuten kiihdyttimien ja hidastimien vaikutus kuivumiseen ei ole merkittävä (Johansson 1991, s. 33-40).

#### 3.4.5 Jälkihoidon vaikutus kuivumiseen

Jälkihoitotavan valinnalla on tärkeä osa betonin kuivatuksessa. Tärkeintä on estää lisäveden pääsy rakenteeseen, koska kaikki vesi, joka betonin kovettumisen aikana siirtyy rakenteeseen on myöhemmin poistettava sieltä. Sementtimäärän kasvaessa betonissa ja lujuusluokan noustessa, kasvaa myös supistumishuokosten tilavuus. Suurempilujuuksinen betoni pysyy siis imemään itseensä enemmän vettä kuin heikompi betoni. Kuivumisen kannalta tämä on erityisen huono asia, koska yksi tärkeimmistä syistä miksi suurempilujuuksinen betoni kuivuu nopeammin kuin heikko betoni, on sen sisältämä vähäinen rakennekosteus. Jälkihoitona on siksi suositeltavaa käyttää suojaavaa kalvoa vesikastelun sijaan (Johansson 1991, s.25-27).

Jälkihoitoajan pituus vaikuttaa myös betonin kuivumiseen. Pitkän jälkihoitoajan vaikutuksesta betoni saavuttaa korkeamman hydrataatioasteen, ja rakennekosteuden määrä laskee.



Toisaalta betonin vesihöyrynläpäisevyys alenee ratkaisevasti, jos hydrataatio etenee niin pitkälle, että kapillaarihuokosten välinen yhteys katkeaa ja yhtenäinen huokosjärjestelmä muuttuu erillisten huokosten muodostamaksi järjestelmäksi. Kapillaarihuokosjärjestelmän katkeamiseen vaikuttaa paitsi betonin ikä niin myös vesisementtisuhte, joka yhteys on esitetty taulukossa 2 (Johansson 1991).

Taulukko 2. Ikä jolloin yhtenäinen kapillaarihuokosjärjestelmä sulkeutuu (Betonghandbok 1980, s. 176).

$W/C$	Ikä
0,40	3 vrk
0,45	7 vrk
0,50	14 vrk
0,60	6 kk
0,70	12 kk
>0,70	ei koskaan



### 3.5 Päälystystyön vaatimukset betonin kosteuspitoisuudelle

Taulukko 3. Päälystystyön edellytyksenä oleva betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvo ja ehdotus päälystettävyysskosteuksien uusiksi raja-arvoiksi.

Päälystetyyppi	Nykyinen raja-arvo %	Ehdotus raja-arvo %	Ehdotuksen perustelut
Epoksipohjaiset lattiapinnoitteet	97	90(97) <sup>1</sup>	Tuotteiden kosteudenkestöissä eroja
Homogeeniset PVC-matot ja laatat	90	90	-
Uretaanipohjaiset lattiapinnoitteet	90	90	-
Monikerroksiset PVC-matot ja laatat	90	85(90) <sup>1</sup>	Tuotteiden kosteudenkestöissä eroja
Monikerroksiset eriaineiset PVC-päälysteet	85	85	-
Korkkilaatat	85	80	Dimensiomuutokset (reunoilla)
Linoleumi	85	80	Värimuutosriski
Mosaiikkiparketti	80	75	Dimensio- ja värimuutokset



<sup>1</sup> Päällysteen valmistajan tutkimustulokset kosteudenkestävyydestä.

Tutkimuksessa etsittäessä mahdollisimman nopeasti kuivuvia tasoite-betoni yhdistelmiä otetaan huomioon taulukossa 3 esitettävät nykyiset raja-arvot (By 12 1985, s. 26) eri päällystetyyppien sallimille kosteuspitoisuuksille ja samalla esitetään Liisa Rautiaisen esittämät omat suosituksensa (Rautiainen 1991, s. 21).



## **4. Kokeellisen osan materiaalitiedot**

### **4.1 Betonin osa-aineet**

#### **4.1.1 Sideaineet**

Tutkimuksen kokeellisessa osassa käytettiin kolmea eri sementtilaattaa. Sementit olivat kaikki Oy Partek Ab:n toimittamia. Käytetyt sementit olivat P 40/28 normaalisti kovettuva portlandsementti, P 40/7 nopeasti kovettuva portlandsementti ja P 40/3 erittäin nopeasti kovettuva portlandsementti.

#### **4.1.2 Runkoaineet**

Filleriä lukuunottamatta kokeissa käytetyt runkoaineet olivat Lohja Oy Ruduksen toimittamia luonnon muovaamia, raemuodoltaan pyöreähköjä pääosaltaan graniittiperäisiä suodatinhiekkalajitteita. Filleri noudettiin Vainion Soran hiekanotto-paikalta Nopposta. Kaikki runkoainelajitteet olivat kuivattuja. Betonin runkoaine yhdistettiin 5 kiviainelajitteesta, maksimiraekoon ollessa 16 mm.



Taulukko 4. Betonien valmistuksessa käytettyjen runkoaineiden läpäisyprosentit.

Runkoaine- lajite	Seulakoko mm							
	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
filleri	53	100	100	100	100	100	100	100
0,1 - 0,6	5,3	30	92	100	109	100	100	100
0,5 - 1,2	0,2	2	16	93	100	100	100	100
1 - 2	0	0	2	21	94	100	100	100
2 - 3	0	0,5	1,3	14	65	100	100	100
3 - 5	0	0	0	0,5	1,3	57	100	100
5 - 10	0	0	0	0,4	0,7	2,3	69	100
8 - 16	0	0	0	0	0	0	1,5	100

#### 4.1.3 Vesi ja lisäaineet

Kokeissa käytetty vesi oli Espoon kaupungin vesijohtovettä.

Lisäaineena käytettiin huokostetuissa betoneissa nestemäistä VR/T Mischoel K huokostinta. Mischoel K:n päävaikutusaine on abietiinihappo. Huokostin oli juuri hankittu kokeiden alussa. Lisäainetta säilytettiin maahantuojan muoviastiassa noin +20° C:n lämpötilassa laboratoriotilassa.



## 4.2 Seinätasoitteet

Tutkimuksessa selvitettiin seuraavien seinätasoitteiden toimintaa:

### 1. Breplasta W

Basok Oy:n maahantuoma ruotsalaisen Scanspac AB:n valmistama kosteiden tilojen märkätasoite, joka käytetään suoraan pakkauksesta ilman veden lisäystä. Sideaineena käytetään polyvinyyliasetaatti P.V.A:ta. Täyteaine on murskattua valkoista Dolomiitti marmoria. Suurin raekoko on 0,25 mm.

### 2. Rudus seinätasoite SH

Lohja Oy:n valmistama kosteiden tilojen tasoite, jonka sideaineena toimii sementti. Tasoitteen vedentarve on 8-8,5 kg 25 kg:n säkkiä kohden. Suurin raekoko on 0,3 mm.

### 3. Kestonit LH

Kiilto Oy:n valmistama kuivien tilojen muovi-kalkkikivipohjainen seinätasoite. Vedentarve on 7-7,5 kg 25 kg:n säkkiä kohden. Suurin raekoko on 0,3 mm.

### 4. Vetonit K

Oy Partek Ab:n valmistama kosteiden tilojen tasoite. Sideaineena toimii liima. Vedentarve 8-9 kg 25 kg:n säkkiä kohden. Suurin raekoko 0,6 mm.



### 4.3 Lattiatasoitteet

Kokeissa tutkittiin seuraavien lattiatasoitteiden yhteistoimintaa eo. betonien kanssa:

#### 1. Vetonit 2000

Oy Partek Ab:n valmistama kaseiinia sisältävä sementtiperustainen lattiatasoite. Vedentarve on 6-7 kg 25 kg:n säkki. Suurin raekoko on 0,3 mm. Betonin pinta pohjustettiin ennen tasoitteen levitystä Oy Partek Ab:n toimittamalla dispersioaineella, joka ohennettiin vedellä suhteessa 1:5.

#### 2. Ardurapid 55

Alakari Oy:n maahantuoma saksalaisen Ardex'in valmistama lattiatasoite, jonka sideaineena on erikoisementtejä ja dispergoivia muoveja. Vedentarve 6,25 kg 25 kg:n säkkiä kohden. Alusta pohjustettiin Ardion 51 dispersioaineella veteen sekoitettuna suhteessa 1:3.

#### 3. Cascoplan 2

Casco Nobel Oy:n maahantuoma ruotsalainen 2-komponenttinen lattiatasoite, jossa on hydraulinen sideaine ja muovidispersiokovete. Mukana seuraava 5 litran kovete lisättiin 20 kg:n tasoitteesäkkiin. Alusta pohjustettiin Cascoplanin dispersioaineella veteen sekoitettuna suhteessa 1:2.



## 5. Koejärjestelyt

### 5.1 Betonimassojen suhteitus

Betonimassat suhteitettiin Nykäsen menetelmän mukaan. Näiden massojen ominaisuudet tarkistettiin tehdyillä koevaluilla. Lopulliset suhteitukset etsittiin tekemällä uusia koevaluja, joita tehtiin eri massoilla yhteensä 34 kappaletta. Koekappaleissa käytettiin taulukossa 5 esitettyjä sementtejä ja taulukon 6 mukaisia yhdistettyjä runkoaineita.

Taulukko 5. Koebetonit.

	Lujuus (MPa)	Sideaine	Lisäaine
I	K20	P 40/28 Oy Partek Ab:n normaalisti kovettuva portlandsementti	Mischoel K
II	K35	P 40/28 Oy Partek Ab:n normaalisti kovettuva portlandsementti	Mischoel K
III	K20	P 40/7 Oy Partek Ab:n nopeasti kovettuva port- landsementti	-
IV	K35	P 40/7 Oy Partek Ab:n nopeasti kovettuva port- landsementti	-
V	K20	P 40/3 Oy Partek Ab:n erittäin nopeasti kovet- tuva portlandsementti	-
VI	K35	P 40/3 Oy Partek Ab:n erittäin nopeasti kovet- tuva portlandsementti	-



Taulukko 6. Tutkimuksessa käytettyjen yhdistettyjen runko-  
aineiden läpäisyprosentit.

Tunnus	Seula (mm)							
	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16
K20 P40/28	3	5	8	24	35	42	63	100
K35 P40/28	0	2	7	18	33	42	63	100
K20 P40/7	6	12	13	24	38	47	68	100
K35 P40/7	3	6	7	18	33	43	64	100
K20 P40/3	8	15	16	25	38	47	68	100
K35 P40/3	4	7	8	18	33	42	63	100

Betoneita suhteitettaessa tavoitteena oli saada betonit notkeudeltaan välille 2-3 sVB ja lujuudeltaan sellaisiksi, että normaalisti kovettuva betoni saavuttaa kolmessa vuorokaudessa, nopeasti kovettuva betoni kahdessa vuorokaudessa ja erittäin nopeasti kovettuva betoni yhdessä vuorokaudessa purkulujuuden, joka on 60% nimellislujuudesta ja 28 vuorokauden iässä betonit täyttävät betoninormien määrittämän normilujuuden. Huokostetuilla betoneilla ilmamäärän tavoitteeksi asetettiin 10%.



Betonimassojen lopulliset suhteitukset ovat taulukon 7 mukaiset.

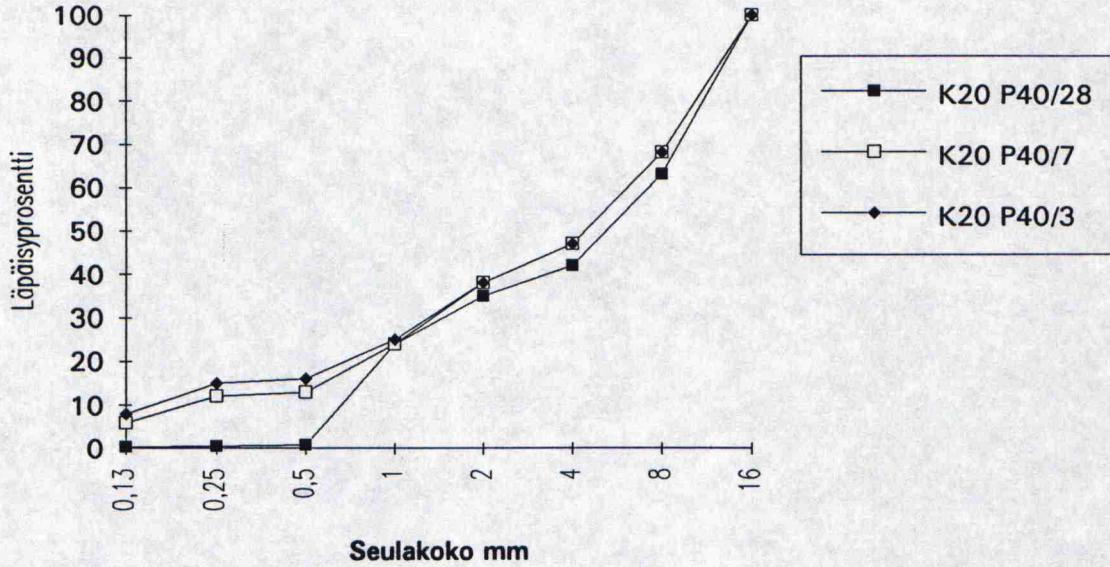
Taulukko 7. Koebetonien suhteitukset.

kg/m <sup>3</sup>	I	II	III	IV	V	VI
filleri	92	-	287	131	228	112
0,1-0,6	-	84	-	-	-	-
0,5-1,2	304	128	115	153	172	168
2-3	356	376	496	504	492	516
5-10	536	424	572	560	568	552
8-16	496	396	440	520	436	496
runkoaine	1790	1410	1910	1860	1890	1840
sementti	270	544	220	310	240	320
vesi	142	196	184	184	192	187
ilma dm <sup>3</sup>	100	100	20	20	20	20
huokostin %	0,08	0,18	-	-	-	-
huokostin g	219	978	-	-	-	-



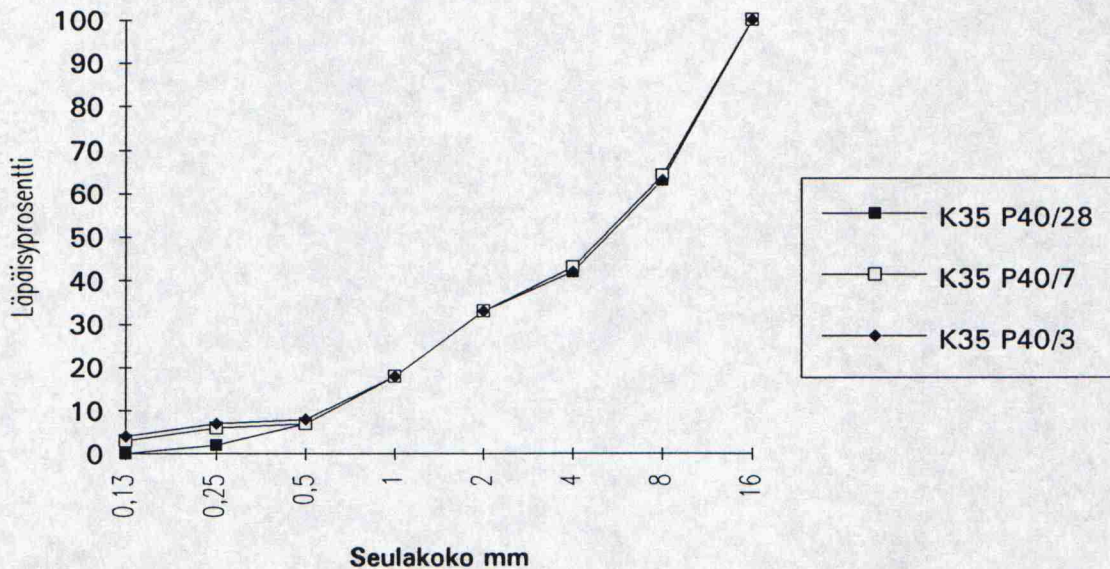
Betonimassojen yhdistettyjen runkoaineiden rakeisuuskäyrät ovat kuvien 9-10 mukaiset.

### Rakeisuuskäyrät K20 betoneille



Kuva 9. K20 lujuuksisten betonien runkoaineiden rakeisuuskäyrät.

### Rakeisuuskäyrät K35 betoneille



Kuva 10. K35 lujuuksisten betonien runkoaineiden rakeisuuskäyrät.



## 5.2 Betonimassan valmistus ja massakokeet

Betonikoekappaleet valmistettiin Teknillisen korkeakoulun betonitekniikan laboratoriossa Zyklon merkkisellä 80 litran pakkosekoittimella, annoksen ollessa 75 litraa. Sekoitusaika oli 3 minuuttia, vesi ja mahdollinen huokostin lisättiin heti sekoituksen alussa.

Betonimassasta mitattiin painuma standardin SFS 5284 mukaan, muodonmuutosaika standardin SFS 5285 mukaan, ilmapitoisuus standardin SFS 5287 mukaan ja tiheys standardin SFS 5288 mukaan.

## 5.3 Betonikoekappaleiden valmistus ja säilytys

Jokaisesta betonista valettiin neljä eri sarjaa, joista joka toinen sisälsi 7 kpl 28cm\*28cm\*8cm laattoja ja 9 kpl 100mm\*100mm\*100mm puristuslujuuskuutioita ja joka toinen 8 kpl laattoja ja 6 kpl kuutioita. Yhteensä laattoja valettiin 180 kpl ja kuutioita myös 180 kpl.

Kuutiot valettiin 100mm\* 100 mm\*100mm teräsmuotteihin, jotka tiivistettiin pöytätäryttimellä. 28cm\*28cm\*8cm laattat valettiin puumuottiin, jonka pohja oli muottivaneria ja reunat höylättyä puutavaraa. Tiivistys tehtiin sauvatäryttimellä. Koekappaleet peitettiin valun jälkeen muovilla. P40/3 massoilla muotit purettiin 1 vuorokauden iässä, P40/7 massoilla muotit purettiin 2 vuorokauden iässä ja P40/28 massoilla 3 vuorokauden iässä, jolloin jälkihoito korvattiin pidemmällä muoteissa säilytyksellä. Purkulujuus oli kullakin massalla 60% nimellislujuudesta. Muottien purun jälkeen laattojen peitoksi liimattiin sivuille ja pohjaan muovi, saumat tiivistäen, kosteuden poistumisen estämiseksi. Näin kappale toimii kuin kaksi kertaa paksumpi molempiin suuntiin kuivuva laatta tai seinä. Tämän jälkeen kaikki koekappaleet siirrettiin vakioilmastoituun huoneeseen, jonka lämpötila oli +20 °C ja suhteellinen kosteus 45%.



## 5.4 Kosteuspitoisuuden mittauss

Päällystettävien koekappaleiden kuivumista seurattiin samaa betonia olevalla mittausskoekappaleella, josta mitattiin sen kosteuspitoisuus aina tietyin väliajoin. Kosteuspitoisuuden ollessa 95%, 90%, 85% ja 80% suhteellista kosteutta päällystettiin yksi sarja laattoja jokaista kosteuspitoisuutta kohden. Ennen mittauksa porattiin mittausskoekappaleeseen kaksi 50 mm syvää reikää, jotka puhdistettiin ja joihin laitettiin kumpaankin Vaisala Oy:n mittareille tarkoitettu holkki ja jonka yläreuna tiivistettiin. Porauksesta mittaukseen odotettiin yksi vuorokausi, jotta holkissa olevan ilman kosteuspitoisuus vakiintuisi samaksi kuin betonin. Suhteellisen kosteuden mittauss suoritettiin kahdella Vaisala Oy:n HMP 36 anturilla ja yhdellä HMI 32 mittarilla. Antureiden kalibroinnin tarkistus tehtiin ennen ja jälkeen mittauksen, anturit kalibroitiin tarvittaessa. Mitattaessa anturi työnnettiin holkin läpi ja tiivistettiin reunoilta, jotta ympäröivä ilma ei pääsisi tunkeutumaan anturiin ja näin vääristämään mittaustulosta. Anturin annettiin olla ensimmäisessä reiässä puoli tuntia ennen mittarin lukua ja toisessa reiässä 15 minuuttia.

## 5.5 Tasoitteen levitys

Lattitasoitteilla päällystettävistä laatoista poistettiin sementtiliima hiomalla, jonka jälkeen pinta puhdistettiin harjalla ja paineilmalla. Puhdistuksen jälkeen tasoitettava pinta pohjustettiin ko. tasoittevalmistajan toimittamalla dispersioaineella. Seinätasoitteilla päällystettävistä laatoista käytettiin muottivaneria vasten ollut pinta, joka puhdistettiin irtopölystä harjalla ja paineilmalla. Tasoitteet levitettiin teräslastalla noin 3 mm kerroksiksi.



## 5.6 Tartunnan määrittäminen

Koekappaleiden pinnoituksen jälkeen ne siirrettiin vakioilmastohuoneeseen kuivumaan 2 vuorokaudeksi. Tämän jälkeen niihin porattiin Dimas-timanttiporalla näkyville erilliset halkaisijaltaan 75 mm olevat kairasydämet. Seuraavaksi niiden annettiin kuivua vuorokausi tavallisessa huoneilmassa. Kuivumisen ja puhdistuksen jälkeen kairasydämiin liimattiin Araldit-kaksikomponenttiliimalla metalliset vetonastat, joiden halkaisija oli 75 mm ja pinta-ala oli siten 4415 mm<sup>2</sup>. Liiman kuivuttua 3-4 tunnin kuluttua vedettiin nastojen kautta tasoite irti betonista Josef Freundl merkkisellä vetolaitteella kuormitusnopeuden ollessa 225 N/s ja saatiin näin selville tasoitteen tartunta betoniin kN:ssa vetonastan pinta-alaa kohden.



## 6. Koetulokset

### 6.1 Betonikoekappaleet

Betonivalujen massakokeiden tulokset olivat taulukoiden 8 ja 9 mukaiset.

Taulukko 8. Betonivalujen massakokeet.

K20 P40/28	Painuma cm	Notkeus sVB	Ilmamäärä %	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
Valu 1	3	2,9	9	2100
Valu 2	5	1,6	10,5	2190
Valu 3	6	1,3	11,5	2120
Valu 4	5	1,4	11	2160
K35 P40/28				
Valu 5	6	1,4	9	2220
Valu 6	6	1,7	9	2190
Valu 7	5,5	1,4	9	2220
Valu 8	6	1,6	9	2210
K20 P40/7				
Valu 9	5	1,5	1,7	2340
Valu 10	6	1,5	2,5	2340
Valu 11	7	1,6	1,8	2370
Valu 12	5	2,0	1,2	2390

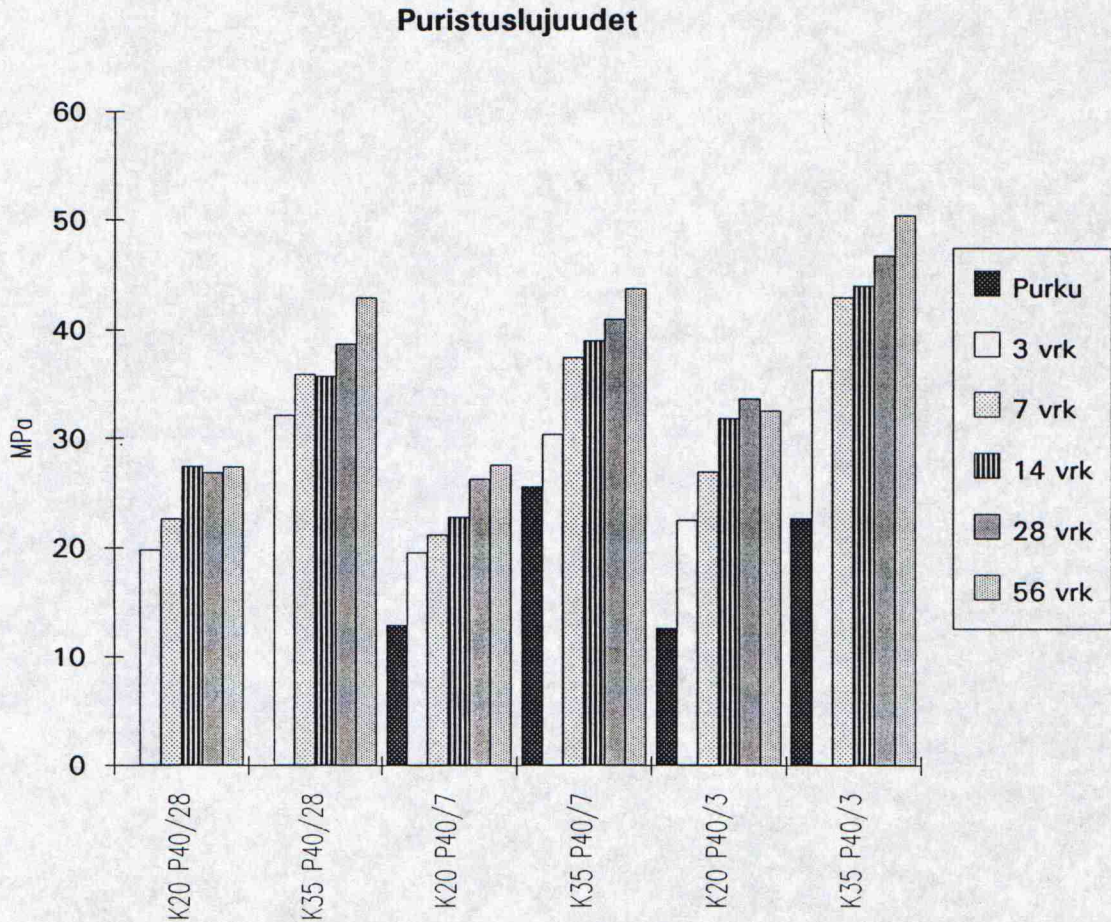


Taulukko 9. Betonivalujen massakokeet.

K35 P40/7	Painuma cm	Notkeus sVB	Ilmamäärä %	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
Valu 13	3	3,0	1,7	2390
Valu 14	2	2,2	0,8	2420
Valu 15	2	2,2	1,1	2400
Valu 26	3	2,1	2,3	2370
K20 P40/3				
Valu 17	7	2,1	1,4	2380
Valu 18	4	2,3	1,2	2370
Valu 19	5,5	2,0	2,0	2340
Valu 20	4	1,6	1,1	2400
K35 P40/3				
Valu 21	3	2,2	1,2	2390
Valu 22	4	1,4	1,3	2390
Valu 23	3	2,6	1,0	2380
Valu 24	3,5	3,0	1,5	2380



Koebetonien puristuslujuudet olivat kuvan 11 mukaiset. Koe-kappaleet olivat kooltaan 100mm\*100mm\*100mm ja tulokset on saatu laskemalla kolmen koekappaleen puristuslujuustulosten keskiarvo. Keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty myös liitteessä 1.



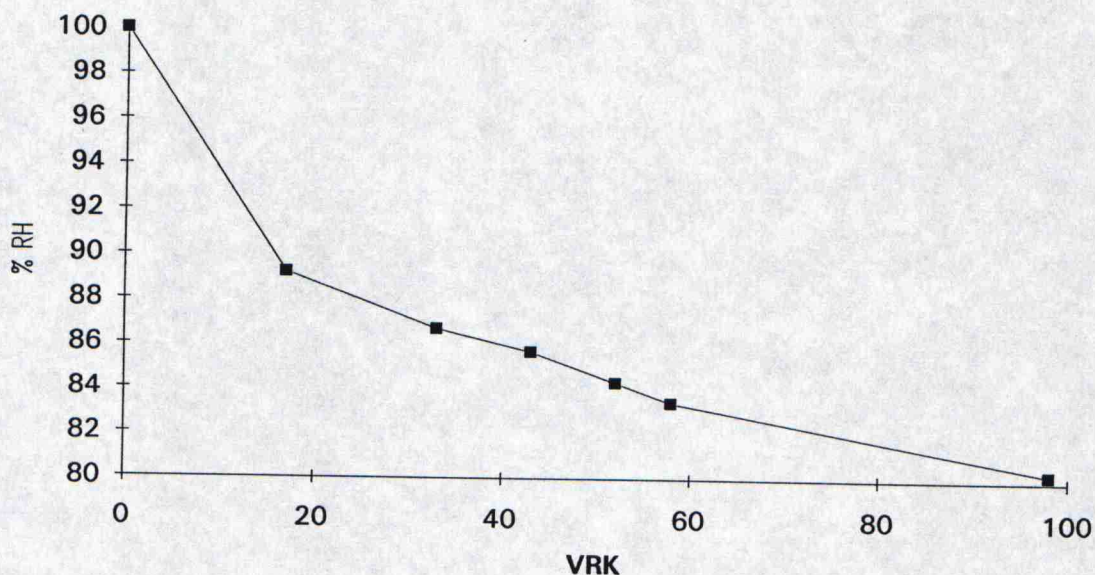
Kuva 11. Koebetonien puristuslujuudet.



## 6.2 Kosteusmittaukset

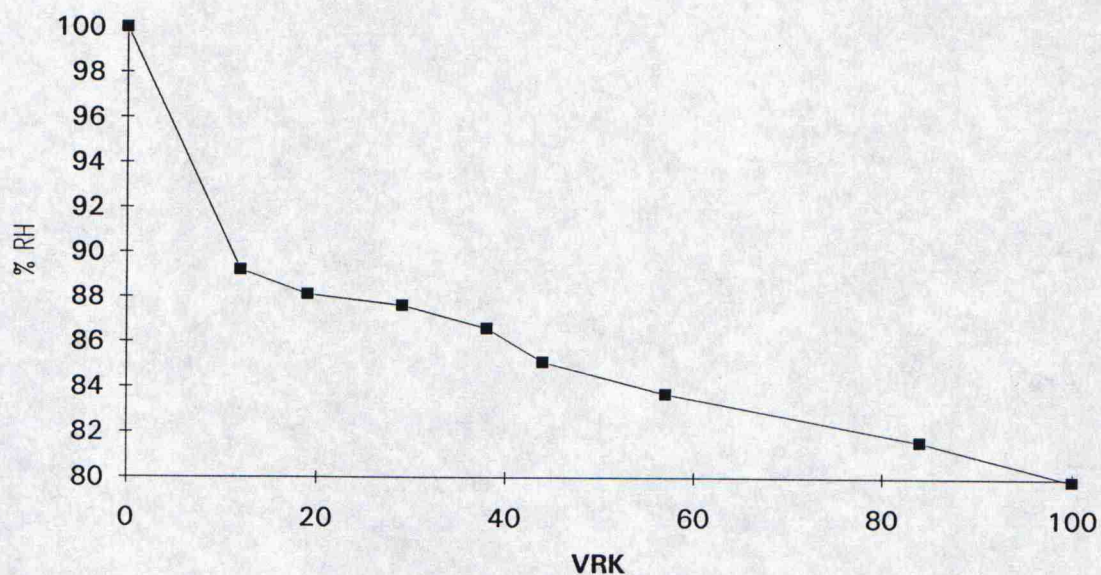
Kosteusmittausten tulokset olivat kuvien 12 - 21 mukaiset.

K20 P40/28



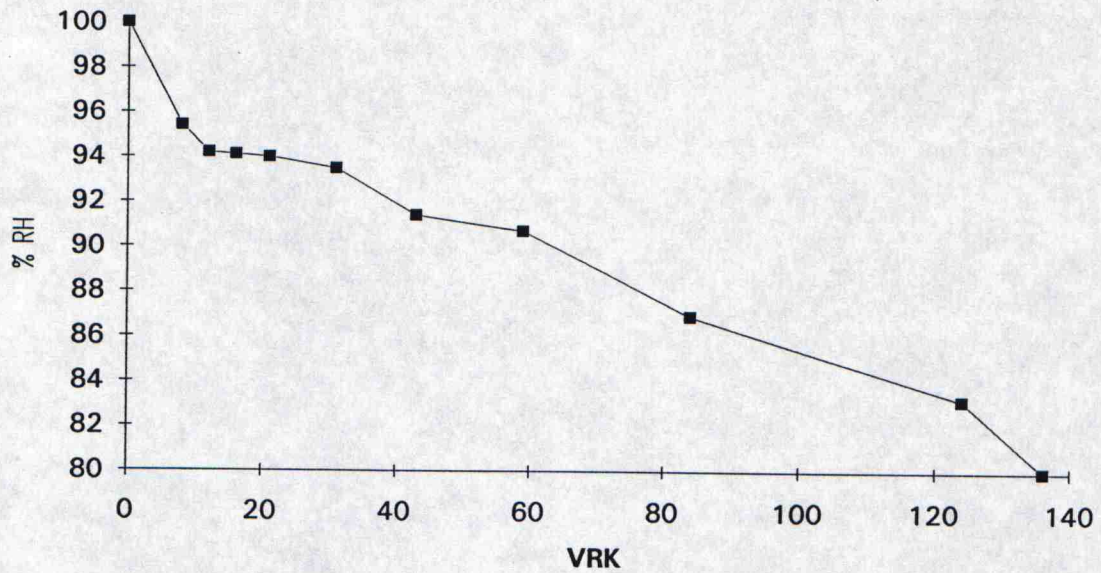
Kuva 12. K20 P40/28 betonin kuivumisaika.

K35 P40/28

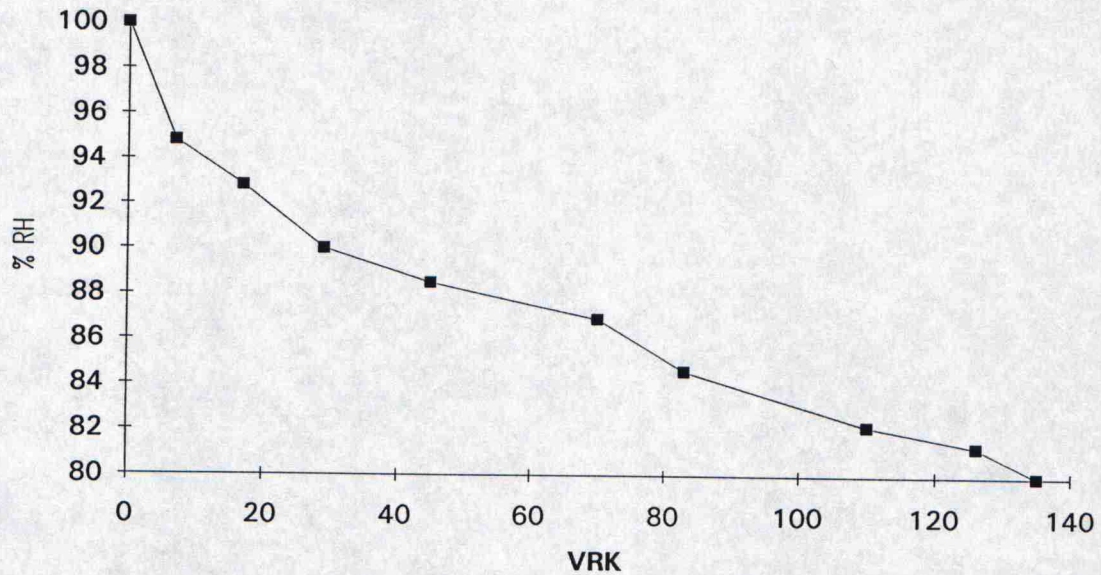


Kuva 13. K35 P40/28 betonin kuivumisaika.



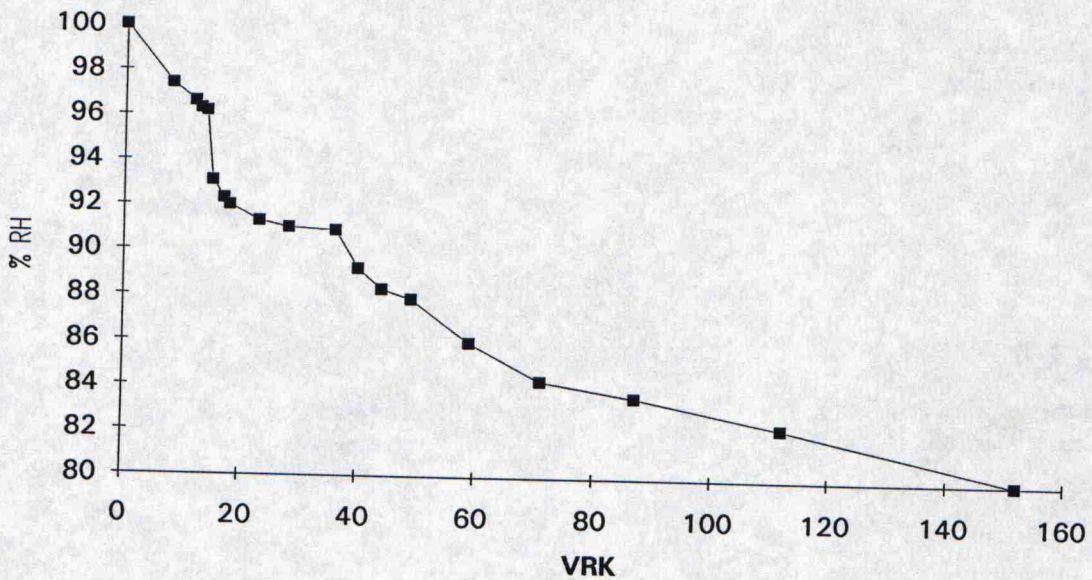
**K20 P40/7**

Kuva 14. K20 P40/7 betonin kuivumisaika.

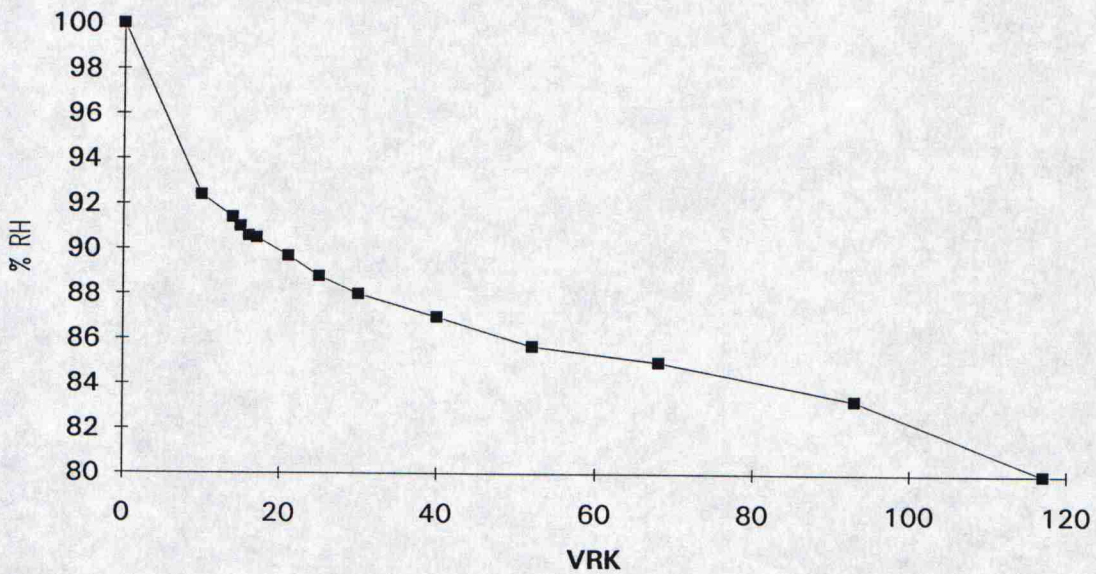
**K35 P40/7**

Kuva 15. K35 P40/7 betonin kuivumisaika.



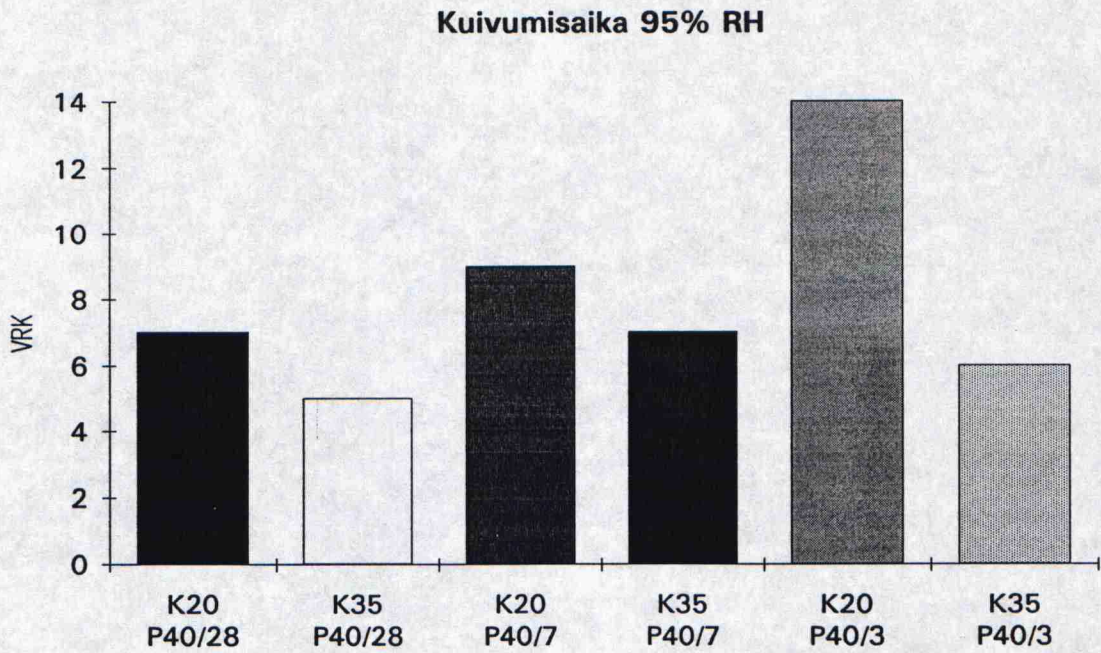
**K20 P40/3**

Kuva 16. K20 P40/3 betonin kuivumisaika.

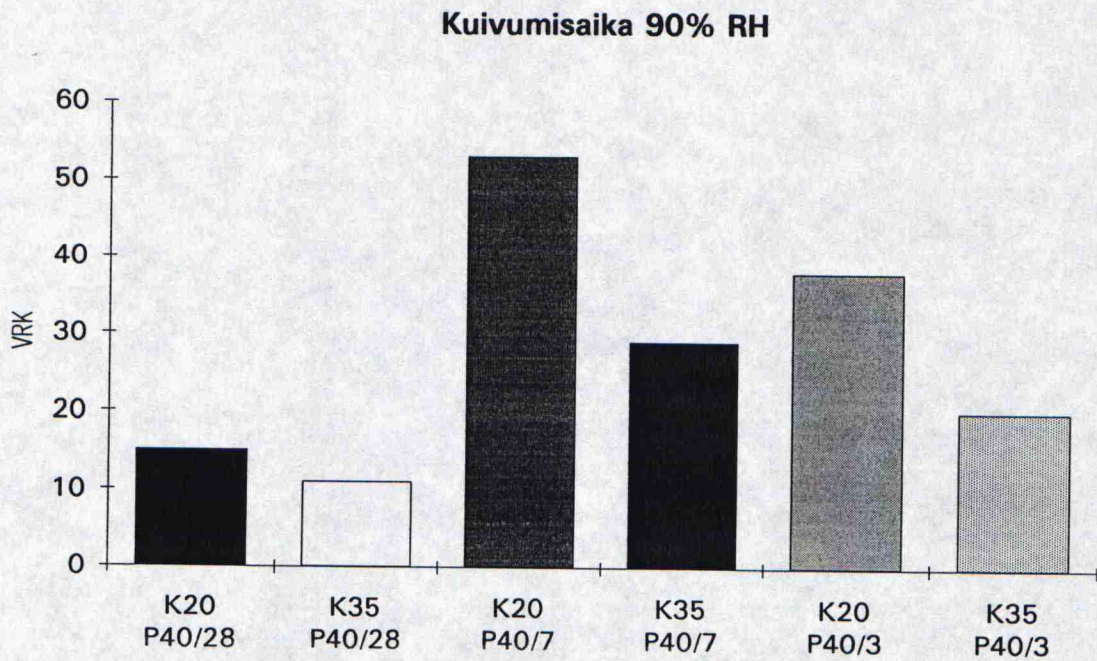
**K35 P40/3**

Kuva 17. K35 P40/3 betonin kuivumisaika.



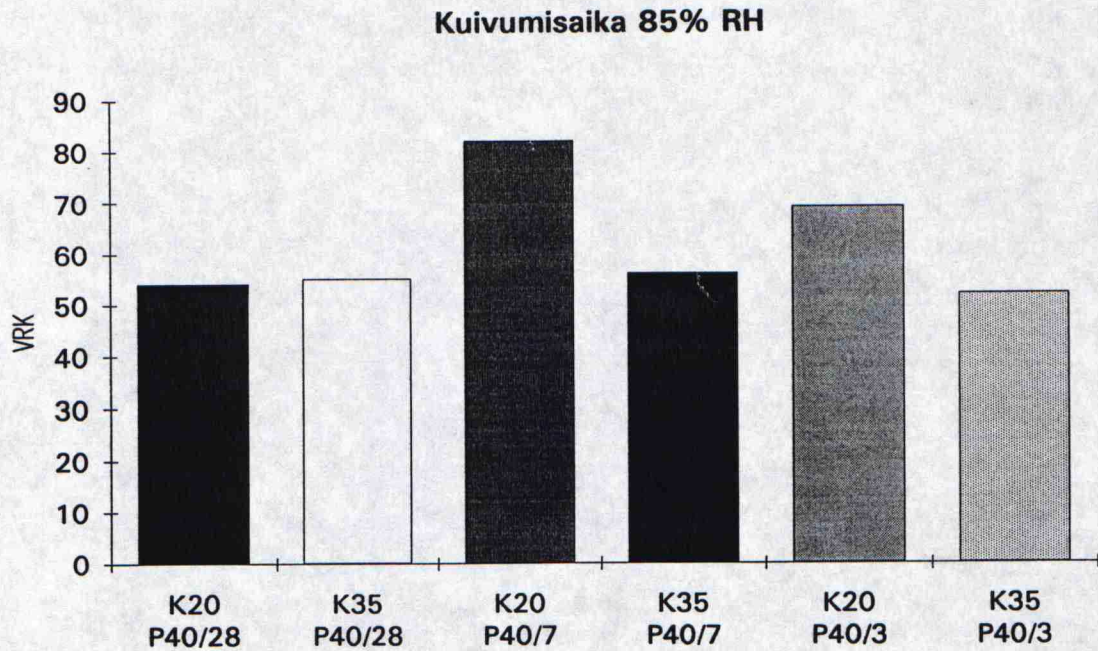


Kuva 18. Kuivumisaika 95% suhteelliseen kosteuteen.

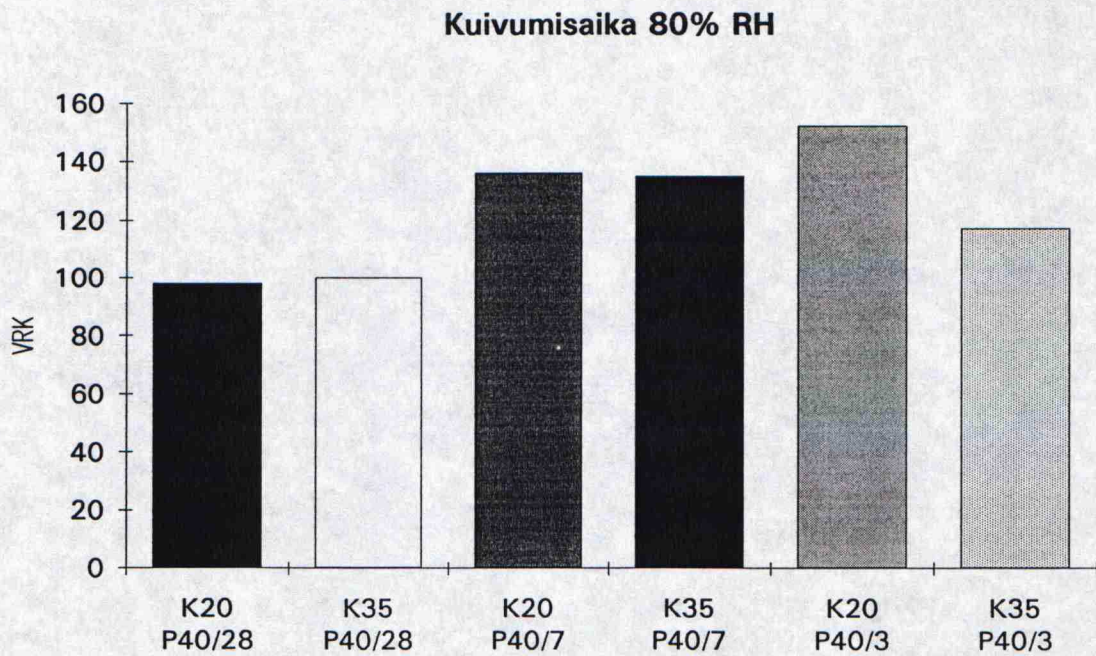


Kuva 19. Kuivumisaika 90% suhteelliseen kosteuteen.





Kuva 20. Kuivumisaika 85% suhteelliseen kosteuteen.

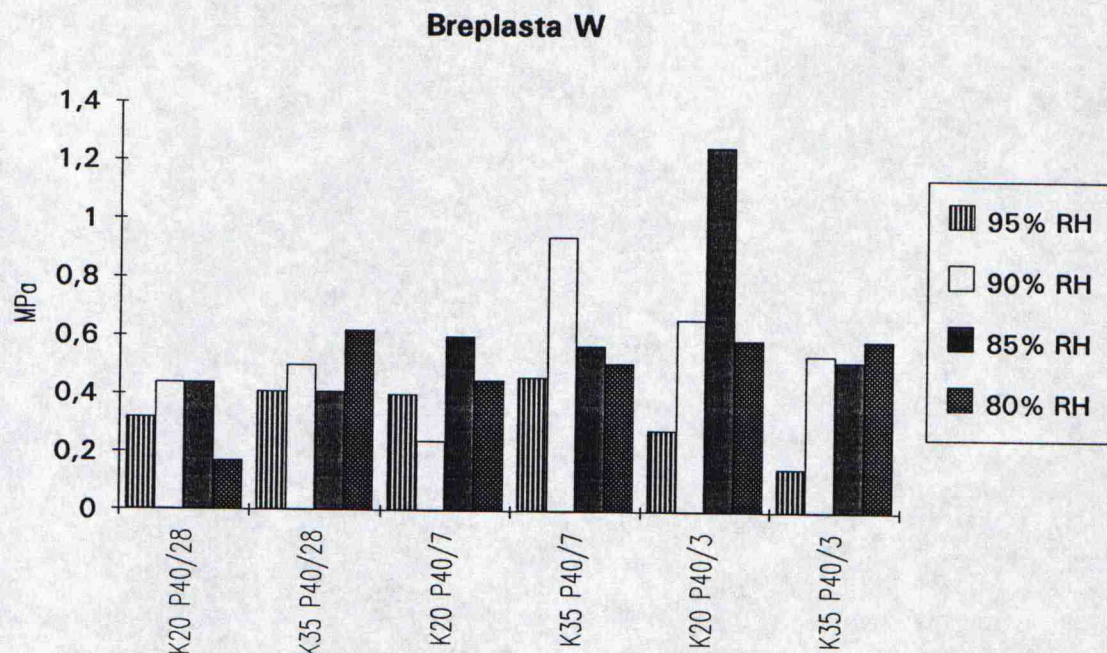


Kuva 21. Kuivumisaika 80% suhteelliseen kosteuteen.

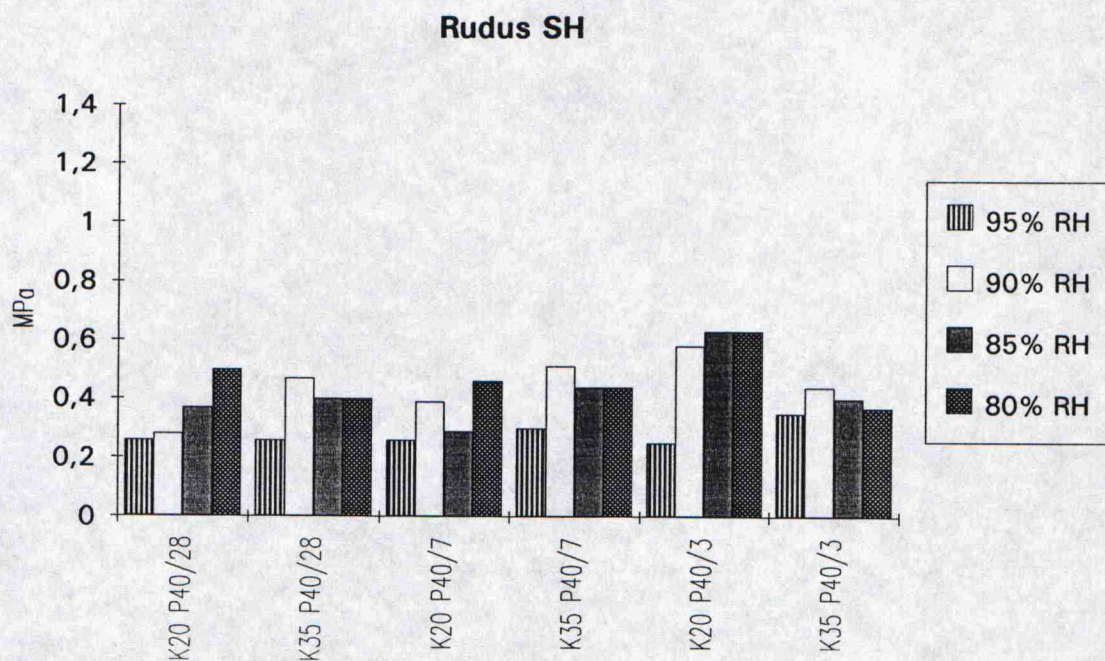


### 6.3 Seinätasoitteiden tartunnat

Seinätasoitteiden tartunnat, jotka esitetään vetolujuusko-  
keiden tuloksina, ovat kuvissa 22 - 25 sekä liitteessä 2.

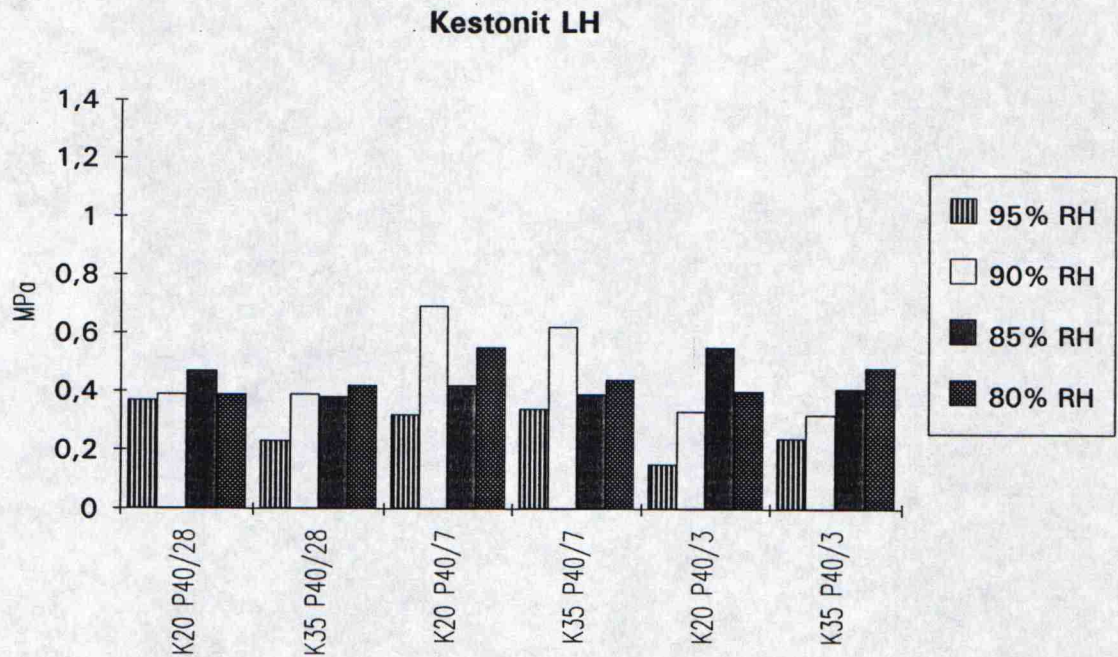


Kuva 22. Breplasta W seinätasoitteen tartuntalujuudet.

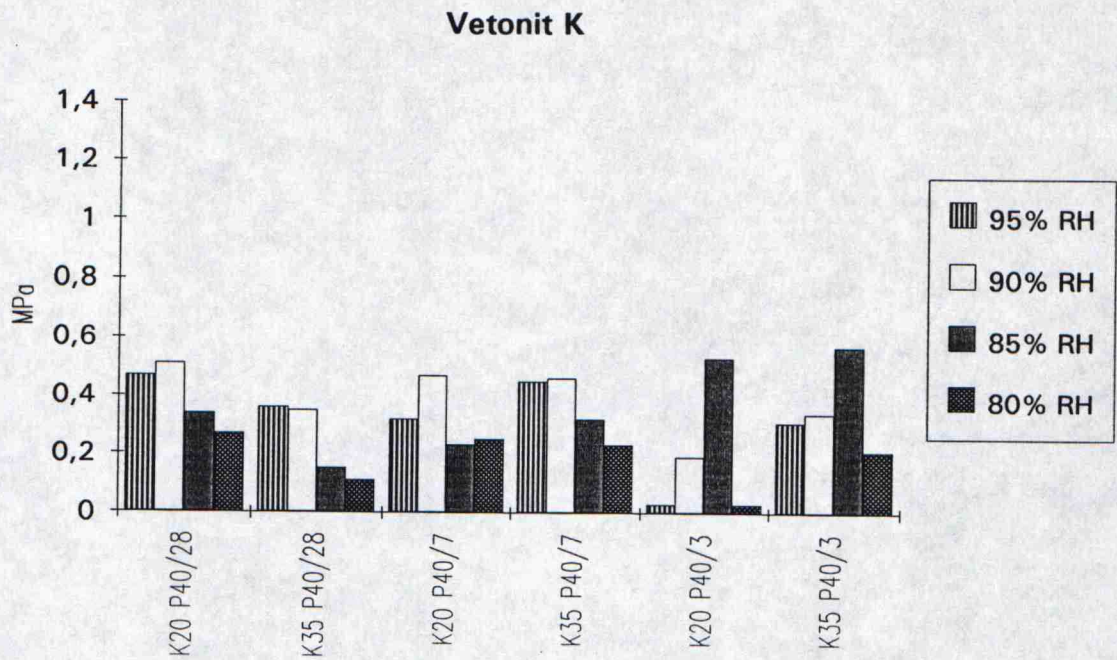


Kuva 23. Rudus SH seinätasoitteen tartuntalujuudet.





Kuva 24. Kestonit LH seinätasoitteen tartuntalujuudet.



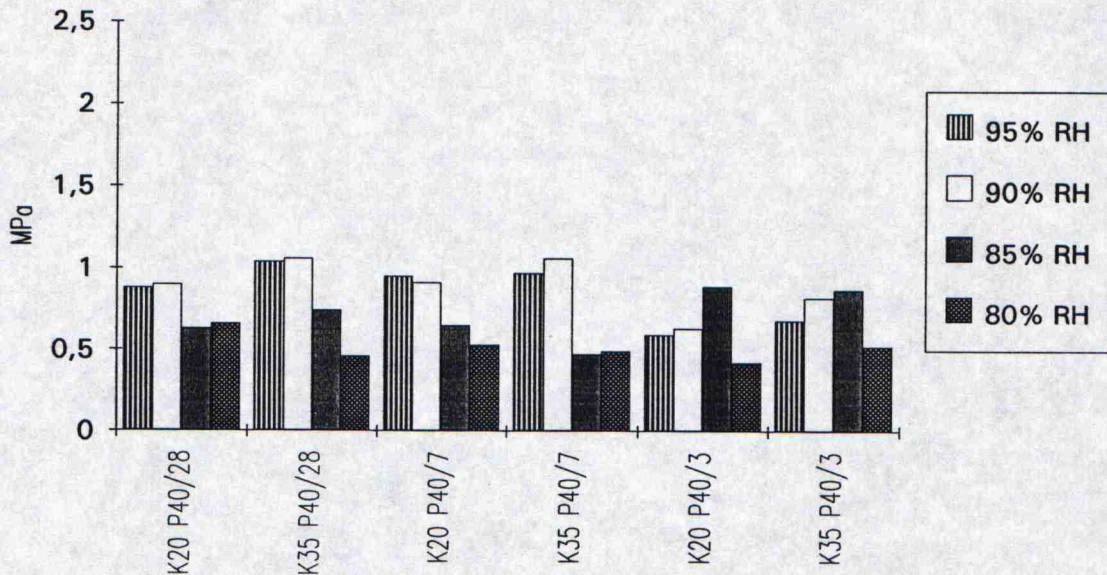
Kuva 25. Vetonit K seinätasoitteen tartuntalujuudet.



## 6.4 Lattiatasoitteiden tartunnat

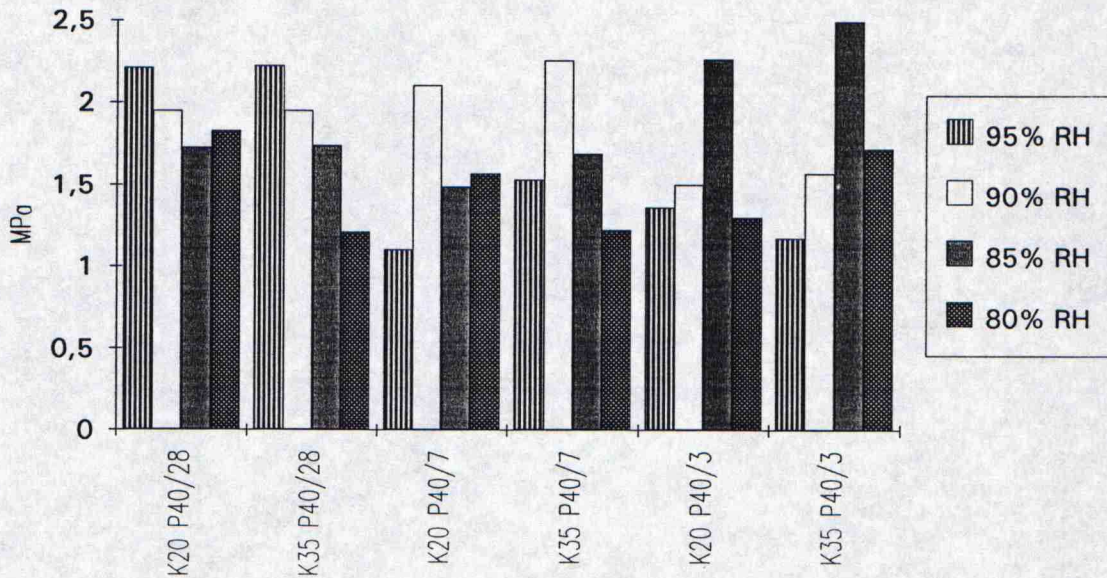
Lattiatasoitteiden tartunnat, jotka esitetään vetolujuusko-  
keiden tuloksina, ovat kuvissa 26 - 28 sekä liitteessä 2.

### Vetonit 2000



Kuva 26. Vetonit 2000 lattiatasoitteen tartuntalujuudet.

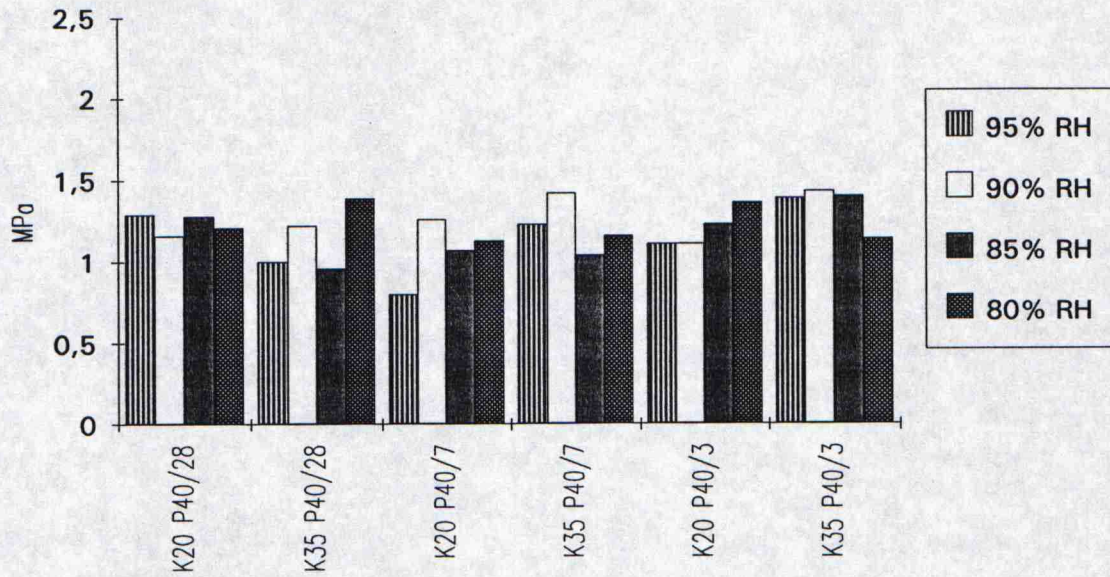
### Ardurapid 55



Kuva 27. Ardurapid 55 lattiatasoitteen tartuntalujuudet.



### Cascoplan 2



Kuva 28. Cascoplan 2 lattiatasoitteen tartuntalujuudet.



## 7. Koetulosten tarkastelu

Kosteusmittauksissa suurin ongelma oli Vaisalan suhteellisen kosteuden ilmoittavan mittarin mittapäiden tarkkuus, joka Vaisala Oy:n ilmoituksen mukaan oli mittausalueesta riippuen 2-3 %-yksikköä. Mittauksissa erot eri mittapäiden välillä olivat samaa suuruusluokkaa. Pyritäessä löytämään 5 % yksikön muutoksia, hankalimmissa mittauksissa 2-3 % yksikön erot kertovat tulosten tarkkudesta. Toisaalta riittävä määrä mittauksia auttoi huomaamaan selvästi väärät arvot. Muina mahdollisina virhelähteinä saattoivat olla anturien muovisten holkkien huono tiiviys ja epätäsmällinen poraussyvyys.

Mittaustuloksista voidaan havaita huokostettujen betonien kuivuneen nopeimmin kaikkiin kosteuspitoisuuksiin. Muista betoneista K35 P40/3 kuivui suhteellisen nopeasti kun taas K20 P40/3 kuivui hitaimmin. Mittaustulokset osoittavat myös lujuuden kasvun nopeuttavan kuivumista aikaisessa vaiheessa. 95 % suhteellisessa kosteudessa huokostettu K35 P40/28 oli selvästi nopein kuivumaan, K35 P40/3, K35 P40/7 ja huokostettu K20 P40/28 olivat seuraavaksi nopeimmat kuivumaan, K20 P40/3 oli selvästi hitain. 90 % suhteellisessa kosteudessa huokostetut betonit olivat kuivuneet nopeimmin, K35 lujuuksiset betonit kuivuivat nopeammin kuin K20 lujuuksiset betonit. 85 % suhteelliseen kosteuteen olivat kaikki kuivuneet yhtä nopeasti K20 P40/3 ja K20 P40/7 betoneja lukuunottamatta. Lähestyttäessä 80 % suhteellista kosteutta ero eri lujuusluokkia olevien betonien välillä katoaa. 80 % suhteelliseen kosteuteen kuivuivat nopeimmin huokostetut betonit, K35 P40/3 betoni kuivui hiukan nopeammin kuin P40/7 betonit, kaikkein hitaimmin kuivui K20 P40/3 betoni.

Tarkasteltaessa betonien kuivumistuloksia ja eri lattiapinotteiden asennuksen asettamia enimmäiskosteuspitoisuuksia saatiin seuraavia tuloksia. Epoksipohjaisten lattiapinotteiden vaatiman 97 % suhteellisen kosteuden saavuttavat kaikki kokeillut betonit jo viikossa. Uretaanipohjaisten lattiapinotteiden, PVC-mattojen ja laattojen vaatimaan 90 % suhteellisen kosteuden saavuttamiseen meni nopeimmin kuivuneelta



huokostetulta K35 P40/28 11 vuorokautta ja hitaimmin kuivuneelta K20 P40/7 lähes kahdeksan viikkoa. Korkkilaattojen, linoleumien ja monikerroksisten eriaineisten PVC-päällysteiden vaatimaan 85 % suhteelliseen kosteuteen kuivumiseen meni huokostetulta K20 P40/28, huokostetulta K35 P40/28, K35 P40/7 ja K35 P40/3 betonilta noin kahdeksan viikkoa, hitaimmin kuivuneelta K20 P40/7 betonilla aikaa kului jo noin 12 viikkoa. Mosaiikkiparketin vaatimaan betonin 80 % suhteelliseen kosteuteen kuivumiseen meni huokoistetuilta betoneilta noin 14 viikkoa (100 vuorokautta) ja hitaimmin kuivuneelta K20 P40/3 betonilta noin 22 viikkoa (155 vuorokautta). Käytettäessä pienen kosteuspitoisuuden alustassa vaativia päällysteitä on ajallisesti ratkaisevaa mikä sideaine ja mahdolliset lisäaineet on betonilattiaan valittu.

Tasoitteiden koestuksissa huomiota herättävin piirre oli tulosten suuri hajonta ja epäyhtenäisyys, joka tekee oikeiden johtopäätösten teon vaikeaksi, vaikkakin koesarjojen runsaus teki mahdolliseksi kokonaisuuden hahmottamisen osin ristiriitaisista tuloksista huolimatta. Seinätasoitteiden vähimmäisvetolujuusvaatimukseksi asetettiin  $0,2 \text{ N/mm}^2$  By 12 suositusten perusteella. Lattiatasoitteiden vähimmäisvetolujuusvaatimus on  $0,5 \text{ N/mm}^2$  normaalissa asumiskäytössä ja  $1,0 \text{ N/mm}^2$  toimisto- ja sairaalakäytössä (By 12, 1985) Koetuloksista voidaan havaita kaikkien seinätasoitteiden täyttävän vetolujuuden osalta kriteerit. Lattiatasoitteissa kaikki tasoitteet täyttävät pienemmän vetolujuusvaatimuksen, Ardurapidin ja Cascoplanin kestäessä vetoa yli suuremman vetolujuusvaatimuksen.

Betonin kosteuspitoisuuden vaikutus tartuntaan tulosten pohjalta arvioitaessa ei ollut suuri. Tuloksissa on havaittavissa pientä tartuntalujuuksien kasvua betonin kuivuessa, mutta tulokset ovat osin tasoittekohtaisestikin ristiriitaisia.

Betonipohjan lujuuden ja sideaineen vaikutus tasoitteen tartuntaan ei tulosten arvioinnin perusteella ole merkittävä. Yksittäisillä tasoitteilla näyttäisi olevan pieniä eroja eri betonipohjien välillä, mutta tutkittaessa kaikkia tuloksia



yhdessä ei merkittäviä eroja eri betonilaatujen välillä löytynyt.

Vertailtaessa eri seinätasoitteita keskenään ei niiden kesken ollut merkittäviä eroja, Breplasta W oli ehkä hiuksenhienosti muita parempi tartunnaltaan. Lattiatasoitteissa Ardurapid oli muita lujempi, koestuksissa tasoite säilyi ehjänä betonin murtuessa eli sen tartuntalujuus oli parempi kuin koebetoni-en. Cascoplan 2 oli Vetonit 2000:a parempi tartuntalujuuksiltaan.



## 8. Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin eri tyyppisten betonien kuivumista ja erilaisten tasoitetyyppien tartuntaa usealle eri kosteuspitoisuuksissa olevalle eri tyyppiselle betonille. Teoreettisessa osassa selvitettiin lyhyesti betonin rakennetta, kuivumismekanismia, kosteusteknisiä ominaisuuksia ja kuivumisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä.

Tasoitteita ei ole aikaisemmin laajasti tutkittu ja siitä johtuen ei niistä ole riittävästi kirjallista materiaalia. On olemassa vain kaupallisia esitteitä ja joitakin tasoitteen teknisen toimivuuden kannalta tietoarvoltaan suppeita artikkeleita. Kirjallinen osa keskittyy tästä johtuen tasoitteen alusbetonin toimintaan.

Betonin kuivumista ja kuivumisaikoja tarkasteltaessa huomataan huokostettujen betonien kuivuneen nopeimmin kaikkiin kosteuspitoisuuksiin. Muista betoneista K35 P40/3 kuivui suhteellisen nopeasti, kun taas K20 P40/3 kuivui hitaimmin. Mittaustulokset osoittavat myös lujuuden kasvun nopeuttavan kuivumista aikaisessa vaiheessa. Epoksipohjaisten lattiapinotteiden vaatiman 97 % suhteellisen kosteuden saavuttavat kaikki kokeillut betonit jo viikossa. 80 % suhteellisen kosteuteen kuivumiseen meni huokostetuilta betoneilta noin 14 viikkoa (100 vuorokautta) ja hitaimmin kuivuneelta K20 P40/3 betonilta noin 22 viikkoa (155 vuorokautta).

Tasoitteita tutkittaessa merkittävä seikka oli tulosten suuri hajonta ja epäyhtenäisyys. Suuri hajonta huomioiden voidaan kuitenkin kokeiden tulosten perusteella tehdä seuraavia päätelmiä: Alusbetoni ja sen kosteuspitoisuus eivät merkittävästi vaikuta tasoitustyön tekemiseen ja tasoitteen tartuntaan, jo 95 % suhteellinen kosteus betonissa on riittävän pieni itse tasoitustyön kannalta. Betonissa oleva kosteus voi vaikuttaa tasoitteen päälle tuleviin pintamateriaaleihin, joista jotkut ovat hyvinkin arkoja kosteuden vaikutuksille, mutta tasoitteen toimintaan alle 95 % suhteellinen kosteus ei vaikuta. Tasoite ei näin sinällään ole esteenä rakennus-



prosessin nopeuttamiseen.

Betonien kuivumisaika-kustannusvertailu on esitetty liitteessä 3.



## 9. Kirjallisuusluettelo

Ardex, tuotekansio. 1992. Helsinki, Oy Alakari LTD. 54 s.

Betonghandbok, material. 1980. Möller, G., Petersons, N. & Samuelsson, P. (Toim.). Stocholm, Svensk Byggtjänst. 619 s.

Betonistandardit, SFS käsikirjä 100. 1992. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS r.y. 365 s.

Breplasta, tuotekansio. 1992. Helsinki, Basok Oy. 28 s.

Bring, C. 1968. Provningsmetoder för golvmaterial och golvkonstruktioner. Stockholm, Byggeforskningen, rapport20/68. 137 s.

By 12. 1985. Betonilattiat - luokitusohjeet - päällystettävyysohjeet. Helsinki, Suomen Betoniyhdistys r.y. 40 s.

By 32. 1989. Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus. Jyväskylä, Suomen Betoniyhdistys r.y. 60 s.

Casco Nobel, tuotekansio. 1992. Vantaa, Sadolin Casco Nobel Oy. 62 s.

CEB Design Guide. 2nd edition. 1989. Durable Concrete Structures. Lausanne, Comite Euro-International du Beton, Bulletin d'information 182. 182 s.

GEBO:s minimikrav på spackelmasser för golv. 1979. Golv till tak 8. 49 s.

Haimala, T. 1990. Lattian pinnoitteitten ja päällysteiden sekä niiden kiinnittimien kosteudenkestävyydet. Osaraportti 1, Lattianpäällystystarvikkeet. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, 30 s. (julkaisematon).



Johansson, K. 1991. Lisälämmityksen ja lisäaineiden vaikutus betonilaattojen kuivumiseen, diplomityö. Espoo, Teknillinen Korkeakoulu. 126 s.

Jydsk Teknologisk Institut. 1978. Method of determination of chemical resistance of floor smoothing underlayments. Aarhus. 102 s.

Kestonit, tuote-esite. 1992. Tampere, Kiilto Oy. 1 s.

Laamanen, P. 1991. Jälkihoidon merkitys betonirakenteiden korjauksessa, diplomityö. Espoo, Teknillinen Korkeakoulu. 141 s.

Molina L. 1990. Measurement of high humidity in cementitious material at an early age. Stockholm, Swedish cement and concrete research institute. 67 s.

Nieminen, J., Kauppi A. & Salonvaara M. 1991. Rakentamisen kosteuden hallinta - Betonilattioiden kuivuminen. Espoo, Energiataloudellisten rakennusten ja rakennusosien tutkimusohjelma, ETRR raportti 8. 47 s.

Nieminen, J. & Rautiainen, L. 1990. Betonirakenteiden kosteusmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyysvaatimukset. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, tiedotteita 1129. 42 s.

Nilsson, L-O. 1980. Hygroscopic moisture in concrete - drying, measurements & related material properties. Lund, Lund Institute of Technology, report TVBM-1003. 127 s.

Norsk ER-nemnd. 1978. Rapport om sparkelmasser for golv. Blindern, Norges Byggforskningsinstitut, oppdrag. nr. 05460. 15 s.

Ojanen, T., Salonvaara, M., Kohonen, R. & Nieminen, J. 1989. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, tutkimuksia 595. 102 s.



Orantie, K. 1988. Betonin rakennuskosteuden hallinta ja kuivatuksen nopeuttaminen. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, tutkimuksia 547. 42 s.

Parrot, L.J. 1988. Measurement and modelling of moisture, microstructure and properties in drying concrete. 142 s.

Patel, R.G. 1988. Influence of curing at different relative humidities upon compound reactions and porosity in Portland cement paste. Materials and Structures 21. 5 s.

Pihlajavaara, S.E. 1964. Johdatus betonin kuivatusilmiöön. Helsinki, Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos. 115 s.

Pihlajavaara, S.E., Pihlman, E. & Paroll, H. 1974. Betonin kosteuspiitoisuudesta, kosteudenluovutuksesta ja kosteusmittauksesta. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, osa Rakennusaineopin monistesarjaa. 10 s.

Rautiainen, L. 1990. Lattian pinnoitteiden ja päällysteiden sekä niiden kiinnittimien kosteuden kestävyyydet. Osaraportti 2, Tasoitteet ja niiden vaikutus lattian päällystettävyyteen ja kosteuteen. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 29 s. (Julkaisematon).

Rautiainen, L. 1991. Lattian pinnoitteiden ja päällysteiden sekä niiden kiinnittimien kosteuden kestävyyydet. Osaraportti 3, Lattianpäällysteet, liimat ja pinnoitteet. Espoo, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 22 s.

Rudus, tuote-esite. 1992. Helsinki, Lohja Oy Ab. 4 s.

Siro, H., Rytövuori H. 1980. Betonilattioiden päällystettävyyys. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio. Tiedonanto 70. 86 s.

Golventreprenörernas branschorganisation TK-RÅD Nr. 21. 1972. Stockholm. 123 s.



Vaisala Oy. 1990. Käyttöohje HMK 11 kosteuskalibraattori.  
Helsinki, Vaisala Oy. 9 s.

Vaisala Oy. 1991. Käyttöohje HMP 36 mittapää, Betonin  
kosteuden mittaus. Helsinki, Vaisala Oy. 16 s.

Vetonit, tuote-esite. 1992. Parainen, Partek Vetonit Oy Ab.  
40 s.



Liite 1./Taulukko 1. Betonien koestuslujuustulokset ja niiden keskihajonnat (MPa). Koekappaleiden koko oli 100mm\*100mm\*100mm. Tulokset on laskettu kolmen koekappaleen keskiarvona.

Koebetonit	Betonien koestusiät (Vrk)					
	Purku	3	7	14	28	56
K20 P40/28	-	19,81 2,65	22,67 0,28	27,46 0,73	26,90 1,36	27,43 0,63
K35 P40/28	-	32,10 1,26	35,86 0,63	35,70 0,89	38,70 0,28	42,93 0,45
K20 P40/7	12,93 1,30	19,58 0,65	21,23 0,19	22,84 0,95	26,32 0,72	27,62 2,24
K35 P40/7	25,61 0,67	30,39 0,55	37,43 1,48	38,99 1,31	40,95 0,13	43,76 2,54
K20 P40/3	12,67 0,81	22,53 0,47	26,96 1,35	31,81 1,00	33,64 0,20	32,51 0,67
K35 P40/3	22,73 1,62	36,29 0,14	42,29 0,14	44,00 1,30	46,71 0,57	50,36 1,51



Liite 2./Taulukko 1. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K20 P40/28 betonilla. Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,32	0,26	0,37	0,47	0,88	2,21	1,29
	0,09	0,11	0,19	0,03	0,15	0,13	0,16
90	0,44	0,28	0,39	0,51	0,90	1,95	1,16
	0,12	0,07	0,08	0,04	0,05	0,27	0,34
85	0,44	0,37	0,47	0,34	0,63	1,73	1,28
	0,17	0,09	0,06	0,06	0,20	0,10	-
80	0,17	0,50	0,39	0,27	0,66	1,83	1,21
	0,02	0,06	0,03	0,02	0,16	0,23	0,08

Liite 2./Taulukko 2. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K35 P40/28 betonilla. Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,41	0,26	0,23	0,36	1,04	2,22	1,00
	0,13	0,08	0,01	0,13	0,04	0,37	0,13
90	0,50	0,47	0,39	0,35	1,06	1,95	1,22
	0,09	0,14	0,04	0,09	0,09	0,20	0,18
85	0,41	0,40	0,38	0,15	0,74	1,74	0,96
	0,16	0,11	0,09	0,05	0,26	0,40	-
80	0,62	0,40	0,42	0,11	0,46	1,21	1,39
	0,23	0,05	0,03	0,06	0,07	-	0,13



Liite 2./Taulukko 3. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K20 P40/7 betonilla.  
Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,40	0,26	0,32	0,32	0,95	1,10	0,80
	0,12	0,05	0,23	0,08	0,09	0,32	0,09
90	0,24	0,39	0,69	0,47	0,91	2,10	1,26
	0,04	0,06	0,07	0,10	0,03	0,20	0,09
85	0,60	0,29	0,42	0,23	0,65	1,49	1,07
	0,30	-	0,02	0,05	0,12	0,31	0,21
80	0,45	0,46	0,55	0,25	0,53	1,57	1,13
	0,12	0,12	0,11	0,03	0,17	0,23	-

Liite 2./Taulukko 4. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K35 P40/7 betonilla.  
Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,46	0,30	0,34	0,45	0,97	1,53	1,23
	0,08	0,03	0,11	0,27	0,07	0,09	0,10
90	0,94	0,51	0,62	0,46	1,06	2,25	1,42
	0,12	0,05	0,11	0,12	0,11	0,17	0,05
85	0,57	0,44	0,39	0,32	0,47	1,69	1,04
	0,06	0,05	0,01	0,08	0,21	0,21	0,10
80	0,51	0,44	0,44	0,23	0,49	1,22	1,16
	0,24	0,08	0,08	0,05	0,03	0,01	-



Liite 2./Taulukko 5. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K20 P40/3 betonilla. Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,28	0,25	0,15	0,03	0,59	1,36	1,11
	0,06	0,11	0,09	0,01	0,15	0,44	0,25
90	0,66	0,58	0,33	0,19	0,63	1,50	1,11
	0,04	0,22	0,08	0,03	0,10	0,55	0,31
85	1,25	0,63	0,55	0,53	0,89	2,26	1,23
	0,24	0,01	0,09	0,07	0,06	0,32	0,14
80	0,59	0,63	0,40	0,03	0,42	1,30	1,36
	0,15	0,08	0,04	0,02	0,11	0,46	0,09

Liite 2./Taulukko 6. Tasoitteiden tartunnat ja niiden keskihajonnat K35 P40/3 betonilla. Tulokset on laskettu kolmen koestuksen keskiarvona.

RH %	Tasoitteiden tartunnat ja keskihajonnat (MPa)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
95	0,15	0,35	0,24	0,31	0,68	1,17	1,39
	0,05	0,04	0,07	0,07	0,18	0,13	0,22
90	0,54	0,44	0,32	0,34	0,82	1,57	1,43
	0,04	0,10	0,03	0,10	0,18	0,68	0,13
85	0,52	0,40	0,41	0,57	0,87	2,49	1,40
	0,20	0,04	0,06	0,07	0,10	0,07	0,08
80	0,59	0,37	0,48	0,21	0,52	1,72	1,14
	0,15	0,11	0,02	0,03	0,13	0,21	0,09



Liite 3./Taulukko 1. Betonien kuivumisaika-kustannus-vertailu.

	Betonit					
	K20 P40/28	K20 P40/7	K20 P40/3	K35 P40/7	K35 P40/3	K35 P40/28
Hinta mk/m <sup>3</sup>	158	173	191	210	227	238
Hintaero mk/m <sup>3</sup>	vrt.	15	30	vrt.	17	28
	95 % RH			95 % RH		
Kuivumisaika VRK	7	9	14	7	6	5
Kuiv.aikaero VRK	vrt.	-2	-7	vrt.	1	2
Kustannus mk/VRK	vrt.	-	-	vrt.	17	14
	90 % RH			90 % RH		
Kuivumisaika VRK	14	53	37	28	20	11
Kuiv.aikaero VRK	vrt.	-39	-23	vrt.	8	17
Kustannus mk/VRK	vrt.	-	-	vrt.	1,6	2,1
	85 % RH			85 % RH		
Kuivumisaika VRK	53	82	68	55	51	54
Kuiv.aikaero VRK	vrt.	-29	-15	vrt.	4	1
Kustannus mk/VRK	vrt.	-	-	vrt.	4,3	28
	80 % RH			80 % RH		
Kuivumisaika VRK	98	138	152	137	119	100
Kuiv.aikaero VRK	vrt.	-40	-54	vrt.	18	37
Kustannus mk/VRK	vrt.	-	-	vrt.	0,9	0,8

Taulukon kustannuslaskelmat perustuvat seuraaviin liikevaihtoverottomiin hintoihin: normaalisti kovettuva sementti 310 mk/tn, nopeasti kovettuva sementti 440 mk/tn, erittäin nopeasti kovettuva sementti 480 mk/tn, runkoaine 40 mk/tn ja huokostin Mischoel K 13,50 mk/kg.